

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Mobilní systém vyhodnocení propustnosti
papírenských sít

Praha, 2007

Autor: Jan Václavík

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze dne 2.1.2023

Jr Vařík
podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Dvořákovi za vstřícnost, ochotu při konzultacích a čas, který mně a mé práci věnoval. Dále bych rád poděkoval Ing. Františku Kopkovi, bez jeho pomoci, rad a odborných připomínek by tato práce nedosáhla cílené kvality. Můj vděk patří rovněž i bratrovi Jiřímu za dohled při psaní klíčových částí řídicího programu a také všem mým blízkým a přátelům, kteří mě nejen při psaní diplomové práce, ale i během celého studia podporovali a dodávali energii k práci.

Abstrakt

Propustnost síta je důležitým parametrem pro technologii výroby papíru. Ke sledování této veličiny byla vyvinuta měřicí zařízení, která v současnosti dožívají, a je potřeba provést jejich renovaci. Cílem práce je nejen navrhnout a realizovat takové zařízení, ale i zdokonalit způsob měření, při přesném dodržení kritérií stanovených zadavatelem práce. Podstatnou inovaci přináší použití programovatelné řídicí jednotky, která nahrazuje původní zastaralý analogový řídicí systém. Nový způsob řízení umožňuje interpretaci měřicí sondy jako systému se stavovým popisem, který je získán identifikací sondy pomocí ARX modelu (na základě měření odezvy systému). Zpětnovazební regulační obvod je pak realizován softwarově implementovaným PSD regulátorem. Řídicí jednotka rovněž obstarává správu naměřených hodnot, umožňuje přenos naměřených dat do osobního počítače, kontroluje stav akumulátoru, provádí diagnostiku celého systému a statisticky vyhodnocuje naměřené veličiny. Zdokonalený způsob měření dosahuje výrazně kratších dob trvání samotného měření, jednotlivé odměry umožňuje provádět v kratších intervalech po sobě a naměřené hodnoty jsou zatíženy výrazně menší chybou a rozptylem. Celý systém je podstatně mobilnější a mechanicky odolnější než původní zařízení. Rozhraní pro ovládání je navrženo podle přání zákazníka s maximálním důrazem na jednoduchost a funkčnost. Uživateli přináší větší komfort při ovládání systému během měření. Nové zařízení rovněž snižuje nároky na počet obsluhujících osob z tří (u původního) na jednu.

Abstract

Sieve permeability is an important parameter for paper production technology. There is measuring equipment developed to monitor this quantity, which is currently becoming obsolete and needs to be renewed. The goal of the thesis is not only to propose and realize such equipment but also to improve the way of measuring, with exact compliance with the criteria determined by the submitter. The use of a programmable control unit, which replaces the original obsolete analog control system, brings significant innovation. The new way of controlling enables an interpretation of the measuring probe as a state space system, which is obtained by ARX model identification (based on a step response measuring). The feedback control circuit is then realized as a software implemented PSD regulator. The control unit also provides management of measured values, enables the transfer of measured data to a PC, checks the storage battery state, diagnoses the whole system, and statistically evaluates measured quantities. The improved way of measuring reaches markedly shorter duration of measuring itself, enables to carry out separate measuring in shorter intervals in sequence, and measured values have markedly smaller error range. The whole system is considerably more mobile and mechanically resistant than the original equipment. The control interface is designed according to customer's wish with maximum emphasis on simplicity and functionality. System controlling is more user friendly during measuring. The new equipment also reduces demands on the number of operators from three (original equipment) to one.

České vysoké učení technické v Praze - Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

Školní rok: 2005/2006

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Jan Václavík

Obor: Technická kybernetika

Název tématu: Mobilní systém vyhodnocení propustnosti papírenských sít

Zásady pro výpracování:

1. Nastudujte problematiku papírenského průmyslu, kontrola kvality sít (propustnost).
2. Nastudujte způsob vyhodnocení propustnosti sít.
3. Navrhněte systém pro měření a řízení pomocí programovatelného modulu s vyhodnocením propustnosti sít.
4. Implementujte měření propustnosti sít.
5. Vytvořte program k připojení modulu k PC s možností dalšího zpracování naměřených dat.
6. Ověřte kontrolním měřením funkci celého zařízení.

Seznam odborné literatury: Dodá vedoucí práce.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Dvořák

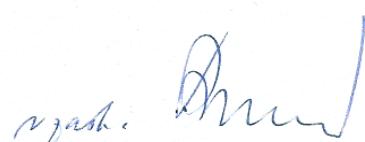
Termín zadání diplomové práce: zimní semestr 2005/2006

Termín odevzdání diplomové práce: leden 2007

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Kučera, DrSc.
děkan



V Praze dne 20.01.2006

Obsah

Seznam obrázků	XI
Seznam tabulek	XV
1 Úvod	1
2 Papírenské síto a měření jeho propustnosti	3
2.1 Propustnost papírenského síta	3
2.1.1 Kontrola kvality papírenského síta	3
2.1.2 Jednotka propustnosti CFM	4
2.1.3 Podtlaková metoda měření propustnosti	4
2.1.4 Optická metoda měření propustnosti	5
2.1.5 Význam CFM	5
2.1.6 Faktory negativně ovlivňující hodnotu CFM	6
2.2 Měření propustnosti síta podtlakovou metodou	6
2.2.1 Princip měření propustnosti síta	7
2.2.2 Popis měření původního systému	7
2.2.3 Popis měření navrhovaného systému	8
2.2.4 Požadavky na kvalitu a způsob regulace	9
2.2.5 Popis zpětnovazebního regulačního obvodu	9
3 Návrh nového měřicího systému	11
3.1 Popis původního měřicího systému	11
3.2 Měřicí sonda	12
3.2.1 Převodní charakteristika senzoru průtoku	13
3.2.2 Převodní charakteristika senzoru podtlaku	13
3.2.3 Převodní charakteristika ventilátoru	14
3.2.4 Zhodnocení naměřených parametrů sondy	14
3.3 Návrh nového měřicího systému	14

3.3.1	Blokové schéma měřicího systému	15
3.3.2	Výběr řídicí jednotky (embedded systému)	15
3.3.3	Základní charakteristika modulu ICP CON 7188XB	16
3.4	Napájení měřicího systému	19
3.4.1	Akumulátor	19
3.4.1.1	Základní charakteristika článku olověného akumulátoru	19
3.4.1.2	Nabíjení olověného akumulátoru	19
3.4.1.3	Chemické rovnice dějů v olověném akumulátoru	19
3.4.1.4	Indikace stavu nabití akumulátoru	20
3.4.2	Napájecí měnič pro sondu	21
3.4.3	Napájení embedded systému ICP CON	24
4	Návrh software	25
4.1	Návrh software pro embedded systém	25
4.2	Návrh software pro osobní počítač	26
5	Identifikace měřicí sondy a syntéza regulátoru	27
5.1	Přechodová charakteristika systému	27
5.1.1	Identifikace pomocí toolboxu Ident	29
5.1.2	Výsledný přenos identifikovaného systému	31
5.2	Syntéza regulátoru	31
5.2.1	Odezva regulované soustavy na jednotkový skok	32
5.2.2	Praktické odzkoušení navrženého regulátoru	34
5.2.3	Ověření splnění požadavků na kvalitu regulace	34
6	Realizace software pro řídicí jednotku	37
6.1	Funkce jádra řídicího systému	39
6.1.1	Softwarová realizace PID (PSD) regulátoru	39
6.1.2	Periodický test napětí akumulátoru	40
6.1.3	Čtení digitálních vstupů (tlačítka a přepínače)	40
6.1.4	Test ustálení systému při měření a odečet dat při ustálení	40
6.1.5	Test zaseklého průtokoměru	41
6.2	Funkce pro ovládání vstupů a výstupů	41
6.2.1	Obsluha přepínače start/stop měření na sondě	41
6.2.2	Vyhodnocení stisků tlačítek	41
6.2.3	Ovládání analogových vstupů a výstupů	42
6.2.4	Ovládání kontrolek na sondě a řídicí jednotce	42
6.3	Funkce pro správu paměti flash a EEPROM	42

6.3.1	Rozdělení paměti flash	43
6.3.2	Organizace flash paměti	43
6.3.3	Použití paměti EEPROM	45
6.3.4	Obsluha paměti EEPROM	45
6.4	Funkce pro komunikaci s osobním počítačem	45
6.4.1	Test připojení modulu	47
6.4.2	Změna koeficientů kalibrace přepočtu	47
6.4.3	Nastavení data a času v modulu	47
6.4.4	Odeslání všech naměřených dat do počítače	47
6.4.5	Diagnostické a ostatní funkce	48
6.5	Funkce pro zobrazení údajů na displeji	48
7	Zpracování naměřených hodnot	49
7.1	Vyhodnocení naměřených dat a výpočet CFM	49
7.1.1	Odhad střední hodnoty v normálním rozdělení	49
7.1.2	Určení naměřené hodnoty minimalizací formy	50
7.2	Pohyblivý průměr	51
7.2.1	Výpočet pohyblivého průměru	52
7.2.2	Zhodnocení implementovaného algoritmu	53
8	Komunikační protokol	55
8.1	Parametry sériové komunikace	55
8.2	Popis rámce	56
8.3	Popis komunikace osobního počítače	56
8.4	Popis komunikace modulu	56
9	Uživatelský SW	61
9.1	Připojení modulu	61
9.2	Naměřená data	62
9.3	Přenos dat	62
9.4	Uložení a export dat	63
9.4.1	Standardní formát souboru s daty	63
9.4.2	XML	63
9.4.3	Export do schránky	64
10	Praktické ověření funkčnosti	65
10.1	Kalibrace měřicí sondy	65
10.2	Ověření měřením	67

10.3 Opakovatelnost měření	67
10.4 Zhodnocení naměřených hodnot	70
11 Závěr	77
Literatura	80
Přílohy	I
A Schémata zapojení	I
A.1 Tabulka zapojení pinů řídicí jednotky	I
A.2 Schéma zapojení	II
A.3 Seznam použitých součástek	II
B Fotografie	V
C Vývoj prototypu nového měřicího přístroje	IX
C.1 Popis přístroje	IX
C.2 Konstrukční díly přístroje	X
C.2.1 Nosná příruba	X
C.2.2 Nosná deska	X
C.2.3 Přítlačná pogumovaná deska	X
C.2.4 Plášt'	X
C.2.5 Víko	XII
C.2.6 Horní kryt	XII
C.2.7 Podpěry pro držadlo	XII
C.2.8 Držadlo	XIV
C.2.9 Příchytka	XIV
C.2.10 Snímací váleček	XIV
C.2.11 Přechodka	XV
C.2.12 Vývěva	XV
C.2.13 Měřicí přístroj podtlaku	XV
C.2.14 Řídicí jednotka	XV
C.2.15 Převodník na vyhodnocení počtu otáček	XV
C.2.16 Snímač rychlosti otáček	XVII
D Obsah přiloženého CD	XXV

Seznam obrázků

2.1	Příklady síta s různou hodnotou CFM	4
2.2	Podtlaková metoda měření propustnosti	4
2.3	Optická metoda měření propustnosti	5
2.4	Větrovka s CFM 20	6
2.5	Blokové schéma měření propustnosti síta	7
2.6	Rozběhová charakteristika původního systému	8
2.7	Blokové schéma způsobu měření navrhovaného systému	9
2.8	Rozběhová charakteristika navrhovaného systému	10
3.1	Měřicí sonda	12
3.2	Převodní charakteristika senzoru průtoku	13
3.3	Převodní charakteristika senzoru podtlaku	13
3.4	Převodní charakteristika ventilátoru	14
3.5	Blokové schéma měřicího systému	15
3.6	Blokové schéma modulu	16
3.7	Modul ICP CON 7188XB	17
3.8	Rozšiřující karta X304	18
3.9	Vybíjecí charakteristika jednoho článku olověného akumulátoru	21
3.10	Blokové schéma zapojení DC/DC měniče	22
3.11	Blokové schéma pulsního měniče MC33063A	23
3.12	Schématické zapojení měniče MC33063A	23
3.13	Vnitřní zapojení obvodu TIP 140	24
3.14	Operační zesilovač v neinvertujícím zapojení	24
5.1	Odměřená přechodová charakteristika systému	28
5.2	Odezva systému na budicí signál pro identifikaci	28
5.3	Nuly a póly identifikovaného systému	29
5.4	Frekvenční charakteristika systému	30
5.5	Přechodová charakteristika systému	30

5.6	Průběh odchylky identifikace	31
5.7	Porovnání spojitého a diskrétního modelu	32
5.8	GMK uzavřené smyčky soustava - regulátor	33
5.9	Schématické znázornění regulačního obvodu	34
5.10	Odměřená přechodová charakteristika v dolní oblasti	35
5.11	Odměřená přechodová charakteristika ve střední oblasti	35
5.12	Odměřená přechodová charakteristika v horní oblasti	36
5.13	Měřená přechodová charakteristika se sklouznutím sondy	36
6.1	Blokové schéma řídicího programu	38
7.1	Histogram vzorku naměřených dat	50
7.2	Pohyblivý (klouzavý) průměr	52
7.3	Výpočet pohyblivého (klouzavého) průměru	53
8.1	Blokové schéma stav. diagramu komunikace <i>master</i>	57
8.2	Blokové schéma stav. diagramu komunikace <i>slave</i>	60
9.1	Rozhraní uživatelského programu pro PC	62
10.1	Měření opakovatelnosti na sítu CFM 50	66
10.2	Kalibrační křivka	68
10.3	Měření opakovatelnosti na sítu CFM 230	71
10.4	Praktické měření na sítu CFM 50	71
10.5	Praktické měření na sítu CFM 115	72
10.6	Praktické měření na sítu CFM 160	72
10.7	Praktické měření na sítu CFM 230	73
10.8	Praktické měření na sítu CFM 340	73
10.9	Praktické měření na sítu CFM 360	74
10.10	Praktické měření na sítu CFM 400	74
10.11	Praktické měření na sítu CFM 500	75
10.12	Praktické měření na sítu CFM 530	75
10.13	Praktické měření na sítu CFM 600	76
10.14	Praktické měření na sítu CFM 800	76
A.1	Schéma zapojení	IV
B.1	Řídicí jednotka - horní pohled	V
B.2	Řídicí jednotka - otevřená	VI
B.3	Řídicí jednotka - přední a zadní pohled	VI

B.4	Měřicí sonda - boční pohled	VII
B.5	Měřicí sonda - čelní pohled	VII
C.1	Nosná příruba	XI
C.2	Nosná deska	XI
C.3	Nosná příruba	XII
C.4	Víko	XIII
C.5	Podpěra pod držadlo	XIII
C.6	Držadlo	XIV
C.7	Příchytká	XIV
C.8	Snímací váleček	XV
C.9	Přechodka	XVI
C.10	Vývěva	XVI
C.11	Pohled zespodu	XVII
C.12	Přední pohled	XVIII
C.13	Natočený boční pohled	XIX
C.14	Natočený přední pohled	XX
C.15	Natočený pohled zespodu	XXI
C.16	Vnitřní část zařízení	XXII
C.17	Vnitřní část zařízení v řezu	XXIII

Seznam tabulek

3.1	Základní charakteristika embedded systému 7188XB	17
3.2	Vstupy a výstupy použité rozšiřující karty X304	18
3.3	Výsledné vstupy a výstupy embedded systému	18
3.4	Tabulka základních charakteristik	19
3.5	Napájecí napětí sondy	24
5.1	Tabulka parametrů navrženého regulátoru	33
5.2	Porovnání požadovaných a skutečných parametrů regulátoru	35
6.1	Přehled tlačítek	42
6.2	Organizace flash paměti	44
6.3	Organizace flash paměti (detailněji)	44
6.4	Organizace EEPROM	46
8.1	Schéma zprávy od PC	56
8.2	Platné znaky ve zprávě od PC	56
8.3	Data směrovaná od modulu k počítači	58
8.4	Schéma zprávy odesílané modulem	59
8.5	Schéma odchozí zprávy	59
9.1	Formát textového souboru	63
10.1	Vzorová síta, která byla k dispozici pro měření	66
10.2	Měření na referenčním sítu	67
10.3	Relativní chyba měření na sérii sít	68
10.4	Relativní chyba měření	69
10.5	Absolutní chyba měření na sérii sít	69
10.6	Absolutní chyba měření	70
A.1	Tabulka zapojení jednotlivých pinů	I
A.2	Seznam použitých součástek	II

Kapitola 1

Úvod

Cílem této práce bylo provést kompletní renovaci měřicího systému k určování propustnosti sít v papírenském průmyslu. Zadavatelem renovace byla firma TSF s.r.o. Strakonice, výrobce sít. Dosud používané zařízení bylo shledáno již nevyhovujícím z několika důvodů: především kvůli nespolehlivosti, dále kvůli mechanickému provedení, vzrůstající nepřesnosti měření a stále se zvyšujícímu počtu oprav na zařízení. Tato práce se zabývá nejen renovací měřicího zařízení, ale i zdokonalením samotné metody měření propustnosti sít a zvýšením komfortu při obsluze měřicího zařízení. Na základě výslovného přání zadavatele projektu byla využita sonda z původního měřicího systému, která je plně funkční. Pořízení nové měřicí sondy by představovalo značné pořizovací náklady a výdaje spojené se získáním kalibračního osvědčení, které je nutné pro dokladování věrohodnosti naměřených hodnot. Tato skutečnost by značně prodražila realizaci celého projektu.

Hlavní inovace způsobu měření spočívá v pojetí měřicí sondy jako systému se stavovým popisem. Na základě získaného přenosu systému byl navržen regulátor, který je softwarově implementován v řídicí jednotce. Regulační obvod udržuje během měření systém v ustáleném stavu s minimální možnou odchylkou od referenční hodnoty. Tak je možné odečíst rozsáhlejší statistický vzorek naměřených hodnot, z kterého je pak určena nejlepší možná naměřená hodnota, což představuje znatelný pokrok v přesnosti měření ve srovnání s původním systémem, který vyhodnocoval pouze jednu jedinou naměřenou hodnotu. Použitá řídicí jednotka byla zvolena tak, aby umožňovala řízení systému v reálném čase, měla dostatečnou výpočetní i paměťovou kapacitu a byla vybavena rozhraním pro komunikaci s osobním počítačem. Součástí práce je i návrh a realizace komunikačního protokolu, který je použit pro komunikaci měřicího systému a počítače za účelem výměny naměřených dat, a počítačový program pro správu měřicí jednotky a další zpracování naměřených hodnot.

Vzhledem k provedeným změnám ve způsobu měření, řízení měřicí sondy a zpracování naměřených dat byl kladen i značný důraz na praktické odzkoušení chování systému nejen v laboratorních, ale i v běžných provozních podmínkách. Kontrolována byla dosahovaná přesnost

a opakovatelnost měření propustnosti. Nemalá pozornost byla rovněž věnována i uživatelskému rozhraní, které by mělo obsluze poskytovat maximální možný komfort a jednoduchost ovládání během měření, a celkové mechanické konstrukci zařízení, při jejímž návrhu byl brán zřetel na snadnou mobilitu a robustnost zařízení. Protože měřicí sonda vyžaduje pro svoji činnost poměrně pestrou škálu napájecích napětí, kterou v původním systému obstarával síťový transformátor s několika odbočkami na sekundárním vinutí, bylo nutné navrhnout napěťový měnič, který bude převádět napětí napájecího akumulátoru na požadované úrovně.

Tato práce je rozdělena do kapitol, které postupně popisují jednotlivé části realizace zadанé práce. V prvních kapitolách jsou teoreticky popisovány způsoby měření propustnosti sítí. Další kapitoly se zabývají návrhem a realizací nového zařízení a jeho funkčních podčástí. V následujících kapitolách je popisován návrh a realizace řídicího softwaru a počítačového programu určeného pro správu měřicího systému. V druhé polovině této práce se nachází popis zpracování naměřených dat a stručná charakteristika vytvořeného komunikačního protokolu. V závěru jsou pak uvedeny výsledky praktických zkoušek a kalibrací měřicího zařízení. Přílohy obsahují schémata zapojení jednotlivých částí, fotografie řídicí jednotky a měřicí sondy a nákresy plánovaného rozšíření měřicího systému.

Kapitola 2

Papírenské síto a měření jeho propustnosti

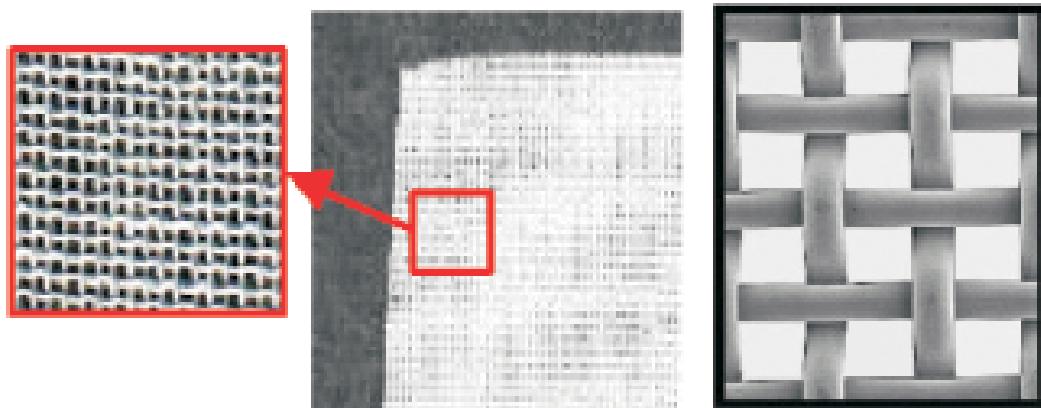
Papírenské síto (obr. 2.1) je nedílnou a nezbytnou součástí papírenského stroje. Na něj se přivádí vláknitá suspenze, která se rovnoměrně rozprostírá na celou šíři síta. Síto pak umožňuje odvodnit papírový pás a unáší vláknitou emulzi do lisové části, která odstraňuje další vodu z pásu, a dále do sušící části, kde se odstraňuje zbytek vlhkosti. Nejen mechanické a tepelné namáhání, ale i agresivní prostředí způsobují značné opotřebení síta během výroby papíru.

2.1 Propustnost papírenského síta

2.1.1 Kontrola kvality papírenského síta

Jedním z důležitých aspektů, který se udává u síta pro papírenský průmysl, je jeho propustnost. Papírenský stroj, který lisuje a suší papír, obsahuje řádově stovky metrů čtverečních sít a jejich parametry - především propustnost - je zapotřebí v zájmu zachování kvality vyráběného papíru periodicky sledovat. V případě nevyhovující propustnosti síta je nutné buď síto vyprat, nebo vyměnit za nové. Kontrolu propustnosti síta provádí buďto sám výrobce papíru, je-li vybaven patřičným měřicím zařízením, nebo výrobce síta v rámci smluvního ujednání se zákazníkem. Kontrola propustnosti se provádí každé dva nebo tři měsíce a je podmíněna odstávkou stroje, s níž však musí výrobce počítat. Odstávka stroje je vždy plánovaná a je spojena i s celkovou údržbou zařízení. Pokud jsou shledány nedostatky v hodnotě propustnosti síta, jsou dvě možnosti jak tuto situaci vyřešit. První, levnější a častěji používanou variantou je vyprání síta ve speciální čistící emulzi. Toto řešení lze použít pouze za předpokladu, že síto je jen znečištěno a není mechanicky narušeno. Druhou, dražší variantou řešení situace, je koupě nového síta. Cena nového síta pro typický papírenský stroj se pohybuje v řádu jednotek milionů korun. Typická

doba životnosti papírenského síta je přibližně 5 let.



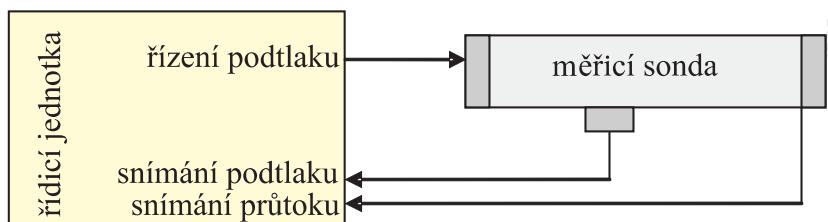
Obrázek 2.1: Příklady síta s různou hodnotou CFM

2.1.2 Jednotka propustnosti CFM

CFM (Cubic Feet of Air Per Minute) je veličinou pro měření propustnosti struktury (látky, síta, tkaniny, pletiva, textury, ...) a udává, kolik krychlových stop vzduchu je propuštěno skrze čtvereční stopu struktury za jednu minutu při daném podtlaku. Způsobů jak změřit pro danou strukturu její hodnotu CFM je několik. V praxi se používají především dvě metody: podtlaková a optická.

2.1.3 Podtlaková metoda měření propustnosti

Nejrozšířenější metoda měření propustnosti síta - podtlaková metoda (obr. 2.2) - spočívá ve vytvoření zadaného podtlaku uvnitř měřicí sondy. Sonda je přitom hubicí přiložena k měřené struktuře. Tekutina prochází měřenou strukturou a sondou je vyfukována ventilátorem ven. Tah ventilátoru a tedy i podtlak v sondě je regulován.



Obrázek 2.2: Podtlaková metoda měření propustnosti

Pokud dosáhne podtlak určité konstantní hodnoty (v případě měření v rozsahu propustnosti

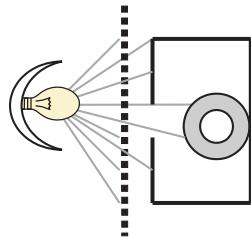
požadovaném zadavatelem práce se jedná o 20 mm vodního sloupce), je možné odečíst průtok vzduchu sondou a ten pomocí empiricky určeného vzorce (2.1) přepočítat na hodnotu CFM,

$$CFM(u) = \sum_{n=1}^k a_n u \quad (2.1)$$

kde a_n jsou kalibrační konstanty pro danou měřící sondu, u je výstupní napětí senzoru průtoku a k je stupeň approximačního polynomu.

2.1.4 Optická metoda měření propustnosti

Optická metoda měření propustnosti síta spočívá v umístění zdroje referenčního světelného záření s konstantní intenzitou na jednu stranu síta a snímače intenzity světla na druhou stranu síta. Naměřená hodnota intenzity dopadajícího záření se pak přepočítá na jednotku propustnosti daného síta.



Obrázek 2.3: Optická metoda měření propustnosti

Tato metoda je velmi přesná a rychlá, dovoluje kontinuální měření při posuvu síta danou rychlostí na výrobní lince. Ve své podstatě však dovoluje měření pouze na jednom konkrétním typu síta, neboť dané síto svými optickými vlastnostmi ovlivňuje snímanou hodnotu. Proto se v praxi nepoužívá k mobilnímu měření propustnosti síta, ale spíše jako statická měřicí stanice kontrolující parametry konkrétního síta při jeho výrobě.

2.1.5 Význam CFM

Hodnota CFM dané struktury se určuje v okamžiku výroby, kdy je ještě neznečištěná, neopotřebená a mechanicky nepoškozená a sleduje se její změna v závislosti na používání a znečištění struktury během provozu. Z hlediska technologického postupu při výrobě papíru je zapotřebí dodržovat povolené rozmezí hodnoty CFM síta. Hodnota CFM se neudává jen u papírenských sít a sít obecně, ale i u celé řady různých jiných tkaných produktů (textil,



Obrázek 2.4: Větrovka s CFM 20

filtrační materiál,...). Například výrobce větrovky na obr. 2.4 udává, že hodnota CFM jeho produktu je rovna dvacetí.

2.1.6 Faktory negativně ovlivňující hodnotu CFM

Jak již bylo napsáno v úvodní kapitole, hodnota CFM se s používáním síta mění, většinou zanášením nečistotami klesá. Faktory, které ovlivňují aktuální hodnotu CFM, se dají rozdělit na několik částí

- **znečištění provozem** - vzniká běžným používáním síta při výrobě, kdy se síto postupně ucpává částečkami, které pocházejí ze suroviny použité při výrobě papíru
- **mechanickým opotřebením** - k mechanickému poškození síta dochází především jeho používáním v papírenském stroji. Správným nastavením pnutí a předpětí se dá mechanické poškození zmírnit, eliminovat se však nedá
- **teplota prostředí a agresivní chemické prostředí** - papírenský stroj pracuje ve velmi teplém a agresivním prostředí. Síto se vyrábí z tkaniny, které by tyto podmínky neměly vadit, ale jejich negativní vliv nelze ani při použití kvalitního a odolného materiálu zanedbat

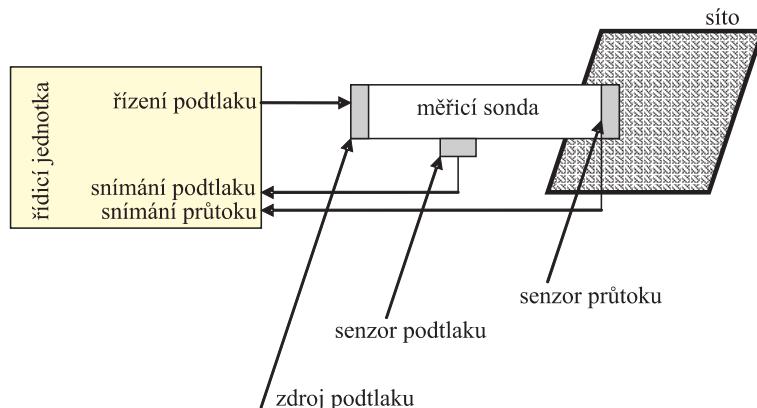
2.2 Měření propustnosti síta podtlakovou metodou

Tato práce se zabývá podtlakovou metodou měření propustnosti síta, kterou dále rozšiřuje. Ke změření propustnosti dané struktury můžeme použít samotnou definici CFM. Je tedy třeba

určit objemový průtok jistým obsahem struktury za jednotku času. Jednotka CFM udává kolik krychlových stop vzduchu projde skrze čtvereční stopu struktury za jednu minutu při daném podtlaku. Pro změření hodnoty CFM dané struktury budeme tedy potřebovat následující senzory a akční prvky:

- **senzor průtoku** - vrtulkový rotační senzor umístěný uvnitř sondy blízko otvoru určeného k přikládání měřené struktury, frekvence otáčení je převedena na stejnosměrné napětí, které je přivedeno do řídicího systému
- **senzor podtlaku** - je umístěn ve střední části sondy a jeho výstup je rovněž ve formě stejnosměrného napětí přiveden do řídicího systému
- **zdroj podtlaku - ventilátor** - akční prvek řízený proudem odsává z dutiny uvnitř měřicí sondy tekutinu (vzduch)

2.2.1 Princip měření propustnosti síta

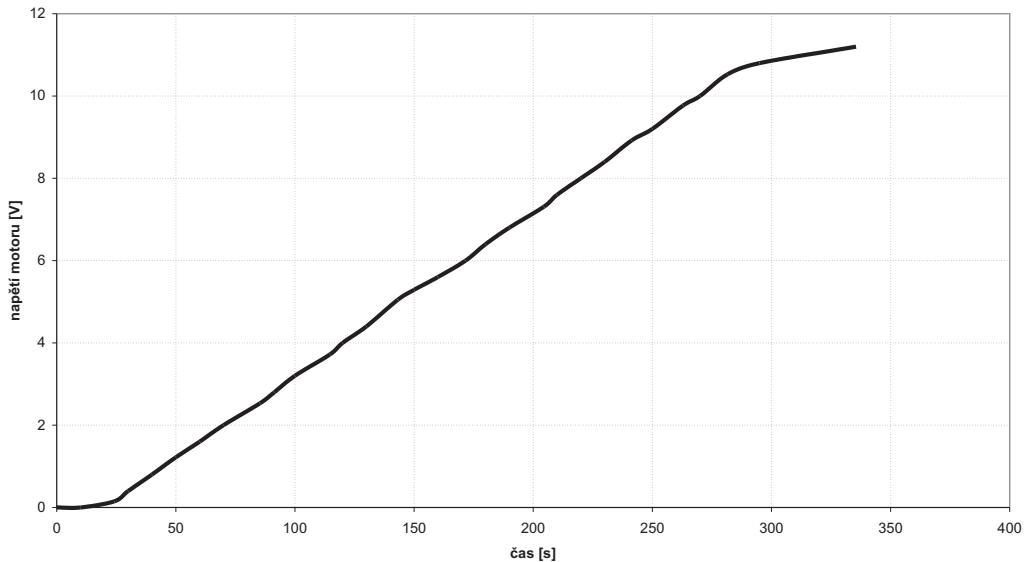


Obrázek 2.5: Blokové schéma měření propustnosti síta

2.2.2 Popis měření původního systému

V původním měřicím systému byl zabudován analogový obvod, který řídil lineárně rozbeh ventilátoru. V okamžiku, kdy hodnota z podtlakového senzoru dosáhla nastavené hodnoty (nejčastěji 20 mm vodního sloupce) se odečetla hodnota z průtokového senzoru a ventilátor se zastavil. Naměřená hodnota se pak přenesla pomocí paralelního portu do připojeného přenosného počítače (hodnota se přenášela naráz pomocí 8 bitů LPT portu bez žádného kódového zabezpečení), kde byla přepočítána na hodnotu CFM. Nevýhodou tohoto způsobu měření byla především jeho nízká rychlosť. Pokud bylo tímto systémem měřeno síto s vyšší propustností, čekala obsluha poměrně dlouhou dobu na to, než se ventilátor rozbehl na patřičné otáčky, aby

byla hodnota z podtlakového senzoru dostačující pro odečet hodnoty z průtokového senzoru. Na obr. 2.6 je vidět odměřená rozbehová charakteristika.



Obrázek 2.6: Rozběhová charakteristika původního systému

Vlivem stárnutí a používání se měřicí systém začal chovat velmi nedeterministicky a při dosažení požadované hodnoty podtlaku v něm jakýmsi záhadným způsobem „zacvakala“ relátka a na výstupu se pokaždé objevila trochu odlišná naměřená hodnota. Někdy relátka sepnula dříve než měla, jindy později. To mělo díky „lineárnímu“ rozběhu ventilátoru za následek velký rozptyl naměřených hodnot. Takové chaotické chování systému postupně gradovalo až do okamžiku, kdy byl přístroj prakticky nepoužitelný a bylo rozhodnuto o jeho kompletní renovaci.

2.2.3 Popis měření navrhovaného systému

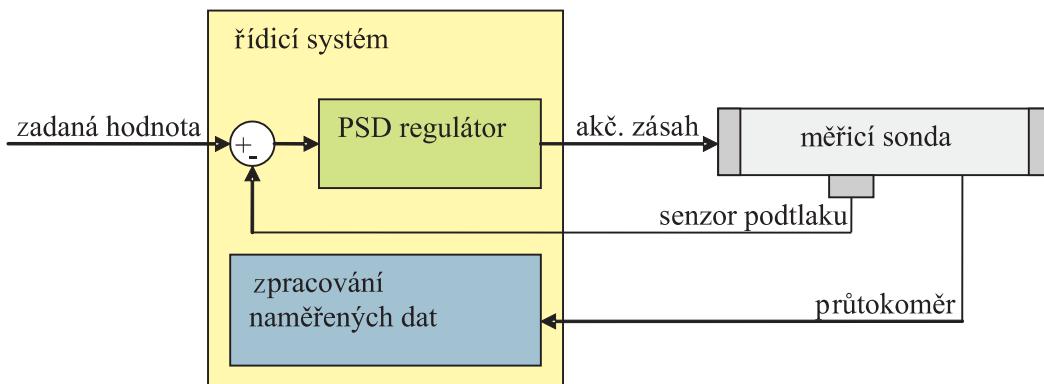
Při návrhu nového systému bylo jedním z hlavních cílů vyvarovat se chyb původního systému. Lineární rozbehová charakteristika, známá z původního systému, byla po praktických zkouškách zavržena. Měření totiž neprobíhalo dostatečně přesně i při použití moderní řídicí jednotky. Doba měření byla buď přijatelně dlouhá, ale přesnost nebyla dostačující, nebo přesnost měření byla uspokojivá za cenu velmi dlouhé doby měření. Navíc byla z jednoho odměru získána pouze jedna jediná naměřená hodnota, což znemožňovalo další statistické zpracování. Ideální kombinaci výše uvedených stavů se nepodařilo nalézt, a proto bylo zvoleno řešení s regulačním zpětnovazebním obvodem.

2.2.4 Požadavky na kvalitu a způsob regulace

- zpětnovazební regulace otáček ventilátoru (podtlaku v sondě)
- výrazný překmit (10 % – 30 %) v přechodové charakteristice po spuštění regulátoru
- ustálení regulovaného systému do 5 sekund od startu měření
- maximální povolená regulační odchylka 5 %
- doba náběhu do 3 sekund
- odečtení několika naměřených hodnot a jejich statistické zpracování

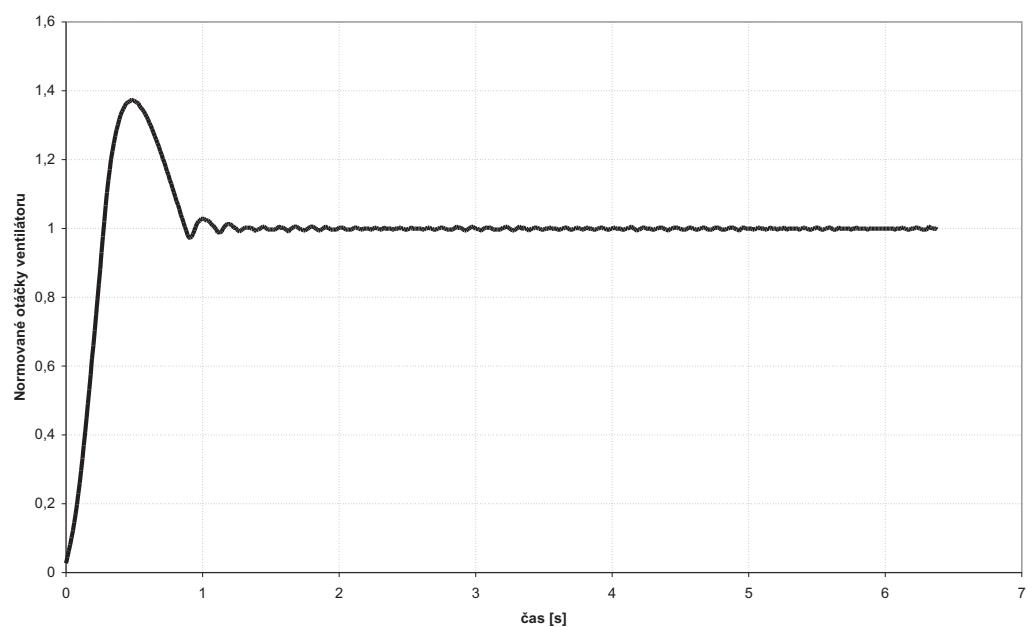
2.2.5 Popis zpětnovazebního regulačního obvodu

Na obr. 2.7 je znázorněno blokové schéma regulačního obvodu. Na vstup regulátoru je v okamžiku spuštění měření přivedena požadovaná hodnota podtlaku v sondě. Regulátor ovládá akční člen (ventilátor) tak, aby dosáhl požadované hodnoty podtlaku. Po ustálení systému je odečteno větší množství hodnot z průtokoměru, které se vyhodnotí a přepočítají na hodnotu CFM s využitím zpracování statistických dat.



Obrázek 2.7: Blokové schéma způsobu měření navrhovaného systému

Očekává se, že zavedení zpětnovazebního regulačního obvodu přinese řadu pozitivních prvků. Požadovaný výrazný překmit (obr. 2.8) přechodové charakteristiky způsobí rychlejší ustálení průtokoměru, neboť jeho reakční doba je v případě přechodové charakteristiky bez překmitu mnohem delší. Dále pak zamezí problémům se zaseknutým průtokoměrem, které se objevily při praktických zkouškách. Doba měření, která u původního zařízení závisela přímo úměrně na propustnosti měřeného síta, bude nyní závislá jen na době ustálení soustavy, která by měla být přibližně stejná pro všechny hodnoty propustnosti měřených sítí. Řídicí jednotka odečte po ustálení soustavy několik naměřených hodnot, které po vyhodnocení zajišťují větší přesnost a opakovatelnost měření.



Obrázek 2.8: Rozběhová charakteristika navrhovaného systému

Kapitola 3

Návrh nového měřicího systému

Jak již bylo poznamenáno v úvodu, cílem práce byla renovace stávajícího měřicího systému. Vzhledem k tomu, že značné omezení renovace představovala její výsledná cena, byla na základě rozhodnutí zákazníka využita původní měřicí sonda. Pořízení nové sondy by přibližně desetinásobně přesáhlo původní rozpočet projektu, nehledě na administrativní kroky, které by bylo nutno podniknout k získání nezbytných kalibračních zkoušek pro novou sondu. Původní měřicí sonda je v dobrém stavu. Nepřesnosti a problémy původního systému byly způsobeny výhradně řídicí jednotkou. Toto bylo prokázáno celou řadou měření a pokusů, které předcházely návrhu nového měřicího systému.

3.1 Popis původního měřicího systému

Původní systém byl tvořen sondou a analogovým vyhodnocovacím zařízením, ke kterému musel být během měření neustále připojen přenosný počítač kontinuálně zaznamenávající naměřená data. Samotné vyhodnocovací zařízení vážilo asi 50 kg a v náročných podmírkách a špatně přístupných prostorách měření na papírenském stroji bylo přenášení a práce s ním velmi namáhavá a fyzicky i časově náročná. K jeho obsluze bylo zapotřebí tří lidí a systém musel být napájen z elektrické sítě (230 V). Navíc analogové vyhodnocovací zařízení těžko snášelo velké teplotní změny, kterým bylo zařízení během měření vystaveno ($25 \div 70 ^\circ\text{C}$) a které negativně ovlivňovaly přesnost naměřených hodnot a životnost celého zařízení.

- **nevýhody:** velká hmotnost, nespolehlivost a poruchovost, problematická mobilita zařízení, nutnost napájení ze sítě, přesnost měření, nepřesná analogová koncepce vyhodnocování, velká režie obsluhujícího personálu
- **výhody:** funkční sonda (nutné jen drobné úpravy)



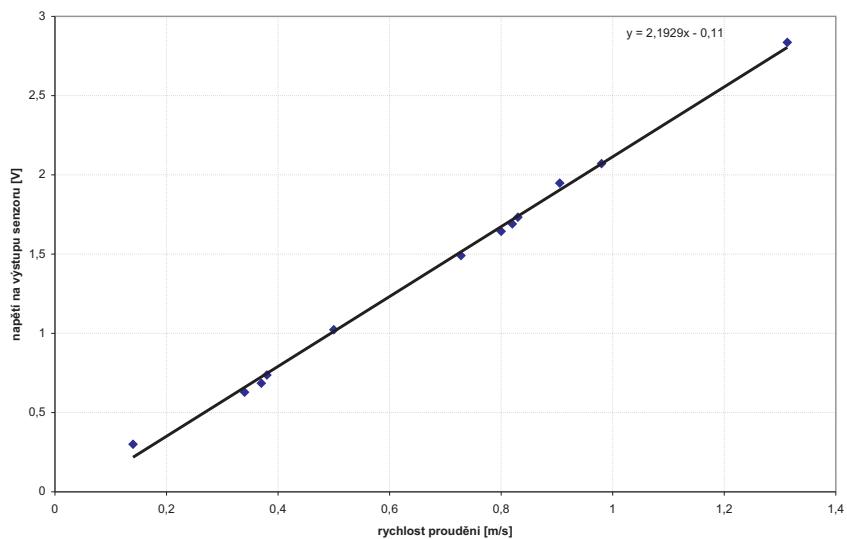
Obrázek 3.1: Měřicí sonda

3.2 Měřicí sonda

Měřicí sonda (obr. 3.1) je speciální zařízení válcovitého tvaru. Během měření vytváří ventilátor v sondě proudění vzduchu a podtlak [6]. Vzduch vstupuje do sondy skrz hubici, která je přiložena k měřenému sítu. Proudí přes průtokoměr, podtlakový senzor a lopatky hnacího ventilátoru. Sondu opouští otvory na boku sondy. V zadní části měřicí sondy (blíže k obsluze) je umístěn světelný displej, který během měření zobrazuje aktuální podtlak v sondě v milimetrech vodního sloupce. Pro obsluhu je to příležitost jak kontrolovat ustálení regulačního obvodu. Dále je na zadní části sondy přepínač „start/stop“, kterým se spouští samotné měření, a dvojice světelných diod indikující stav měřicí sondy. Červená dioda označuje probíhající měření (ustalování a odečet hodnot), zelená dioda bliká podle frekvence senzoru průtoku. Tak je možné kontrolovat, že senzor průtoku správně měří a nedošlo k jeho zaseknutí. Sonda je k řídicí jednotce připojena pomocí dvou kabelů. První - datový - se připojuje do zadní části sondy a slouží k přenosu řídicích informací, druhý - silový - slouží k napájení sondy. Funkční části sondy jsou:

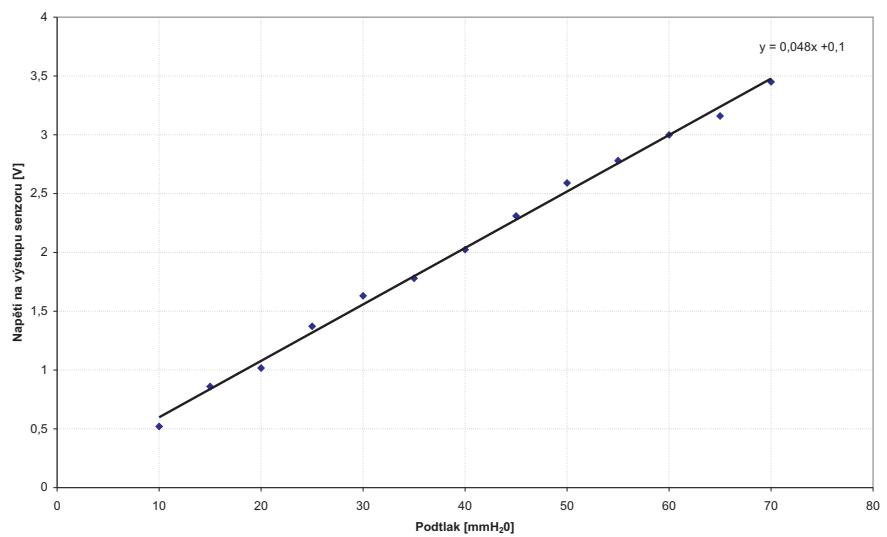
- průtokoměr - vrtulkový s měničem frekvence otáčení na ss napětí, napájení 5 V, 20 V
- podtlakový senzor - diferenční kapacitor s oddělovací kapalinou, napájení -15 V, 0 V, 15 V
- zdroj podtlaku - kalibrovaný ventilátor, napájení 0 ÷ 12 V
- ovládací přepínač *start/stop*
- display pro zobrazení podtlaku

3.2.1 Převodní charakteristika senzoru průtoku



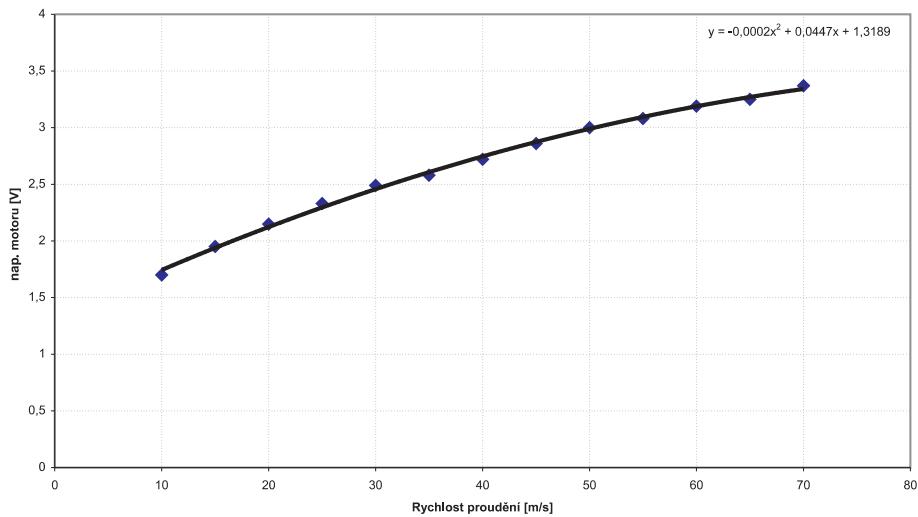
Obrázek 3.2: Převodní charakteristika senzoru průtoku

3.2.2 Převodní charakteristika senzoru podtlaku



Obrázek 3.3: Převodní charakteristika senzoru podtlaku

3.2.3 Převodní charakteristika ventilátoru



Obrázek 3.4: Převodní charakteristika ventilátoru

3.2.4 Zhodnocení naměřených parametrů sondy

Převodní charakteristiky senzoru podtlaku a senzoru průtoku jsou lineární a drobný posuv v absolutní hodnotě se dá jednoduše opravit. Převodní charakteristika ventilátoru má charakter kvadratické funkce. Vzhledem k tomu, že ventilátor bude zapojen v regulační smyčce, bude na PID (PSD) regulátoru, aby s touto vlastností počítal. Na základě provedených měření bylo konstatováno, že měřicí sonda je dostatečně vyhovující k tomu, aby byla použita pro vývoj nového měřicího systému.

3.3 Návrh nového měřicího systému

Hlavní důraz při návrhu nového zařízení je kladen především na tyto aspekty:

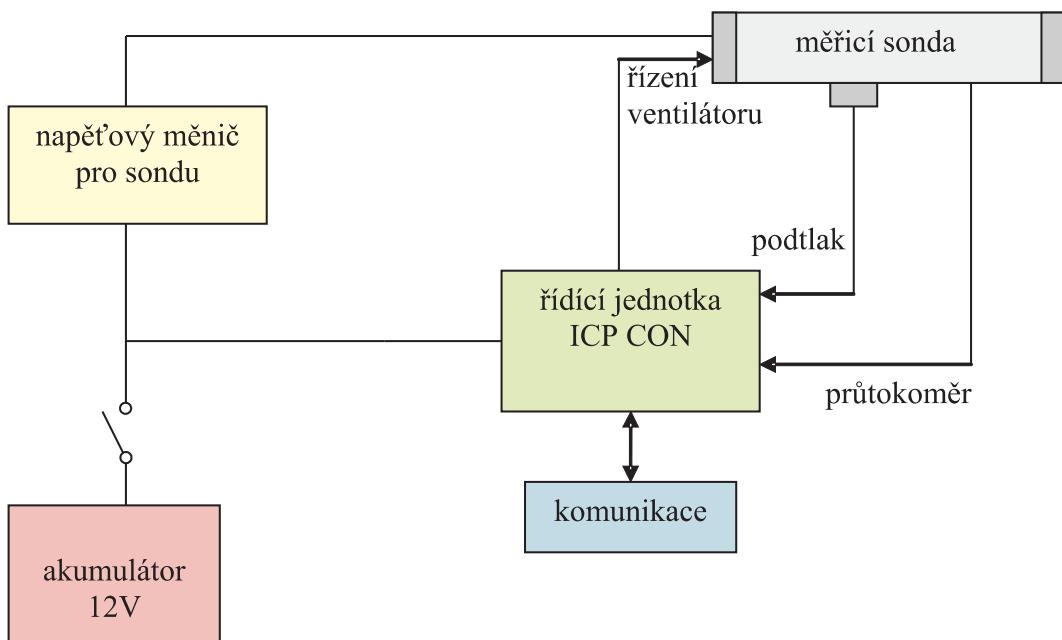
- mobilita a kompaktnost zařízení pro snadnou manipulaci
- napájení z akumulátoru s kapacitou minimálně na jednu směnu měření
- lepší přesnost, než byla u původního systému
- vyšší spolehlivost, minimální náročnost na obsluhu
- použití původní sondy

Všechny uvedené body byly stanoveny na základě přání zákazníka. Použití původní sondy vyžaduje návrh a realizaci napěťového měniče pro její napájení.

3.3.1 Blokové schéma měřicího systému

Měřicí systém se skládá z následujících součástí:

- akumulátorového zdroje stejnosměrného napětí 12 V (оловěný akumulátor)
- řídicí jednotky ICP CON 7188XB
- měřicí sondy
- napěťového měniče pro napájení měřicí sondy
- propojovacích kabelů

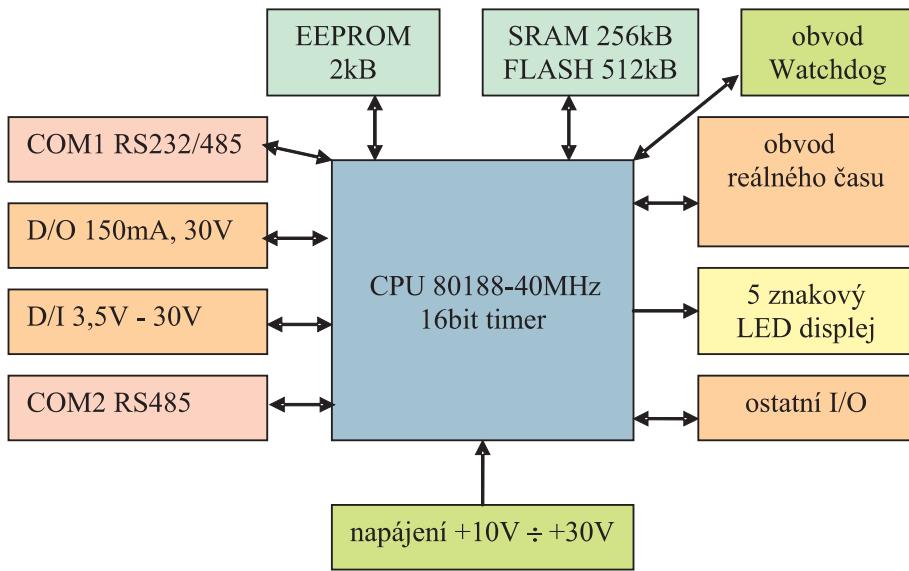


Obrázek 3.5: Blokové schéma měřicího systému

3.3.2 Výběr řídicí jednotky (embedded systému)

Požadavky na výběr embedded systému, který bude řídit měřicí sondu a ukládat naměřená data, mohou být shrnuty do následujících bodů:

- real-time blok pro zajištění kvality regulace s pevnou dobou periody
- blok reálného času pro ukládání časových značek k naměřeným hodnotám
- alespoň jednoduchý displej pro zobrazení naměřených dat
- několik tlačítek pro základní ovládání modulu během měření
- flash paměť pro uložení naměřených dat (dostatečná velikost)
- rozhraní pro připojení k PC pro přenos naměřených dat k dalšímu zpracování



Obrázek 3.6: Blokové schéma modulu

- integrované digitální a analogové vstupy a výstupy
- programování modulu ve vyšším programovacím jazyku (C/C++)
- možnost rozšíření vstupů a výstupů
- minimální hmotnost a kompaktní provedení
- nízký odběr elektrické energie, možnost napájení přímo z akumulátoru
- teplotní odolnost
- příznivá cena samotného modulu
- osobní zkušenosť s embedded systémem a jeho programováním

Na základě výše uvedených požadavků byl vybrán modul IPC CON 7188XB od firmy IDAM. Toto rozhodnutí bylo podpořeno i předchozí dobrou zkušeností s podobnými moduly od této firmy.

3.3.3 Základní charakteristika modulu ICP CON 7188XB

Jako vhodnocovací modul byl použit embedded systém ICP CON 7188XB s displejem a rozšiřující kartou X304. Jedná se o zařízení vybavené operačním systém MiniOS7. Tento jednoúlohový operační systém (podobný např. MS - DOSu) je vybaven hardwarovou podporou pro reálný čas, která je klíčová pro aplikace v oblasti řízení, neboť zajišťuje volání řídicí rutiny s pevně danou periodou. Jedině tak je možné zaručit správné chování softwarově implementované regulační smyčky. Na obr. 3.6 je uvedeno blokové organizační schéma řídicího modulu.

Použitá rozšiřující karta X304:



Obrázek 3.7: Modul ICP CON 7188XB

Tabulka 3.1: Základní charakteristika embedded systému 7188XB

jednotka	popis
procesor:	AMD's embedded CPU, Am188TMES
identifikace:	64-bitové hardwarové unikátní sériové číslo
možnosti rozšíření:	pomocí přídavné karty (I/O expansion bus interface)
komunikace s PC:	COM port s podporou přerušení, 1K QUEUE vstupní buffer celkem 2 COM porty: COM1 (program download port), COM2 COM1: RS232/RS485, 115 200 bps COM2: RS485
systém reálného času:	zabudované hodiny reálného času, Y2K ready, sekundy, minuty, hodiny, den, měsíc, rok (1980 - 2079)
paměť:	SRAM: 512KB Flash Paměť: 512KB NVSRAM (31 bytes), zálohováno baterií (10 let garantováno) EEPROM (2KB, 8 bloků, každý po 256 B, 100 let garantováno)
vstupy:	1 digitální
výstupy:	1 digitální, s otevřeným kolektorem
spotřeba energie:	3 W maximálně, typicky 50 mA při 12 V
cena:	6300 Kč (včetně rozšiřující karty X304 - viz dále)



Obrázek 3.8: Rozšiřující karta X304

Tabulka 3.2: Vstupy a výstupy použité rozšiřující karty X304

analogové vstupy:	3, rozlišení: 12-bit, rozsah: +/- 5 V, vzorkování: 1800 Hz
analogové výstupy:	1, rozlišení: 12-bit, rozsah: +/- 5 V, vzorkování 1300 Hz
digitální vstupy:	4, logická nula (0 ÷ 1 V), logická jednička (3,5 ÷ 30 V)
digitální výstupy:	4, výstup s otevřeným kolektorem 100 mA / 30 V max.

Ve výsledku:

Tabulka 3.3: Výsledné vstupy a výstupy embedded systému

analogové vstupy:	1 - podtlakový senzor 2 - průtokový senzor 3 - napětí akumulátoru celkem 3 (0+3)
analogové výstupy:	1 - řízení vysavače celkem 1 (0+1)
digitální vstupy:	1 - červené tlačítko 2 - modré tlačítko 1 3 - modré tlačítko 2 4 - žluté tlačítko 5 - přepínač na sondě celkem 5 (1+4)
digitální výstupy	1 - signalizace na sondě celkem 5 (1+4)

3.4 Napájení měřicího systému

3.4.1 Akumulátor

Napájení celého zařízení není realizováno z elektrické sítě 230 V jako napájení původního systému, ale z olověného bezúdržbového akumulátoru. Olověný akumulátor je dostatečně tvrdým zdrojem elektrické energie a pokryje bez problémů i špičky při rozběhu motoru ventilátoru. Navíc je levný a jeho součástí je i inteligentní nabíječka, která dovoluje udržovat akumulátor nepřetržitě v nabitém stavu bez zásahu obsluhy. Kapacita akumulátoru byla zvolena tak, aby napájení vystačilo minimálně na dvě směny měření, čímž je s rezervou splněn požadavek zadavatele.

3.4.1.1 Základní charakteristika článku olověného akumulátoru

Tabulka 3.4: Tabulka základních charakteristik

jmenovité napětí	2,1 V / článek
konečné nabíjecí napětí	2,7 V / článek
konečné vybíjecí napětí	1,85 V / článek
samovybíjení	10 - 15 % za měsíc
normální nabíjení	konst. proud 0,1 NK , náboj 1,2 NK , klesajícím proudem
nominální kapacita (NK)	10 Ah
počet článků celkem	5

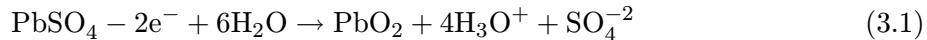
3.4.1.2 Nabíjení olověného akumulátoru

Nabíjení akumulátoru probíhá zcela automaticky po připojení inteligentní nabíječky. Problémem u olověného akumulátoru je přebíjení a hluboké vybíjení pod napětí 1,7 V na článek. Přebíjení bude ošetřeno nabíječkou, ale hluboké vybíjení, zkracující životnost baterie, musí být ošetřeno řídicím modulem. Hluboké vybíjení je nebezpečné zejména tehdy, nenásleduje-li bezprostřední nabítí akumulátoru. Pak dochází k vytvoření síranů v nevratné formě a elektrody tak ztrácejí aktivní plochu.

3.4.1.3 Chemické rovnice dějů v olověném akumulátoru

Katoda i anoda olověného akumulátoru je pokryta vrstvou síranu olovnatého, elektrolytem je kyselina sírová. Na kladné elektrodě probíhá během nabíjení chemický děj podle následující

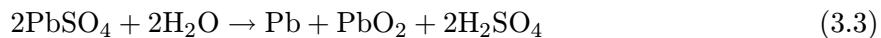
rovnice:



a na záporné elektrodě:



Celkově může být chemická reakce při nabíjení zapsána jako:



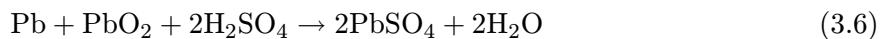
Při vybíjení je reakce obrácená. Dochází k redukci na katodě (vstupují do ní elektrony) a k oxidaci na anodě. Děj na kladné elektrodě:



a na záporné elektrodě:



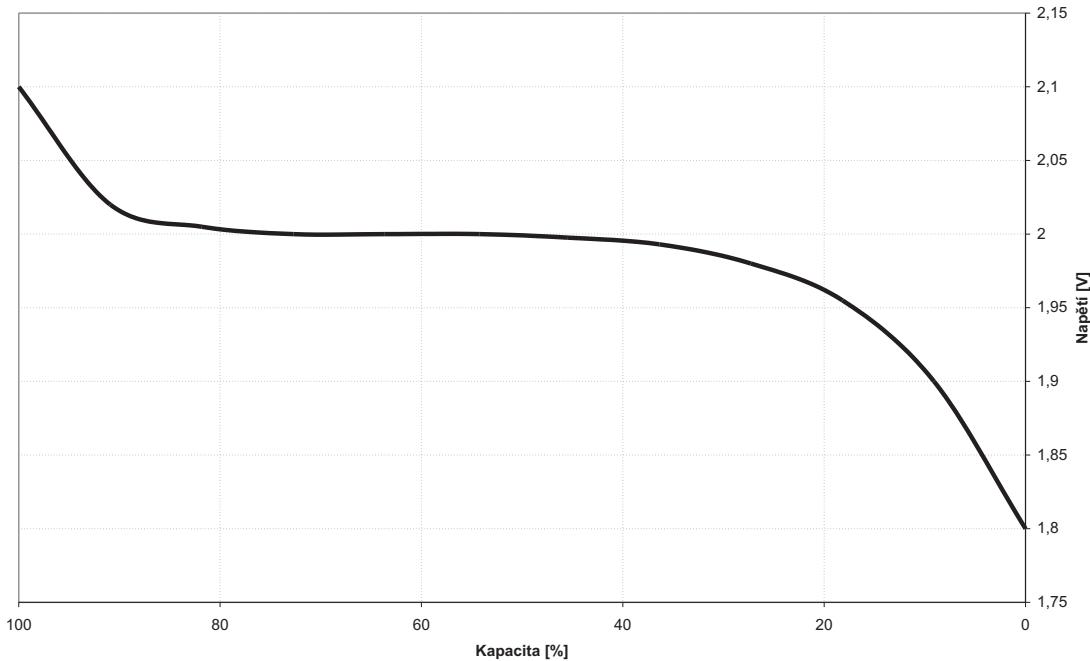
Celkově lze chemickou reakci zapsat následovně:



Na rozdíl od akumulátorů běžně používaných v komerční elektronice je životnost olověného akumulátoru dána spíše jeho stářím, než počtem nabíjecích cyklů. Jeho životnost nezkracuje časté dobíjení, ani nabíjení ukončené před dosažením plné kapacity.

3.4.1.4 Indikace stavu nabití akumulátoru

Vzhledem k tomu, že uživatel měřicího přístroje by měl být informován o stavu nabití akumulátoru, bude na jeden analogový vstup řídicího modulu přivedeno napětí z akumulátoru (přes dělič). Z vybíjecí charakteristiky (obr. 3.9) tak můžeme odečít jednotlivé úrovně pro indikátor stavu akumulátoru v procentech. Řídicí jednotka tedy periodicky odměruje napětí na svorkách akumulátoru a vyhodnocuje jeho kapacitu podle přiloženého obrázku. Při vyhodnocování musí brát v úvahu, zda je měřicí systém v klidu, či zda právě měří. Krátkodobý pokles napětí, který je způsoben větším odběrem ventilátoru, se nesmí projevit na kolísání ukazatele stavu nabití. Ošetření tohoto problému je řešeno pomocí klouzavého filtru (viz kap. 7). Řídicí jednotka bude zobrazovat stav nabití při každém zapnutí a dále bude schopná zobrazit tento stav na výzvu obsluhy. Obsluha bude informována o nízkém stavu akumulátoru i o kritickém stavu akumulátoru, vždy však bude možno dokončit aktuální měření i za cenu rizika zničení akumulátoru.



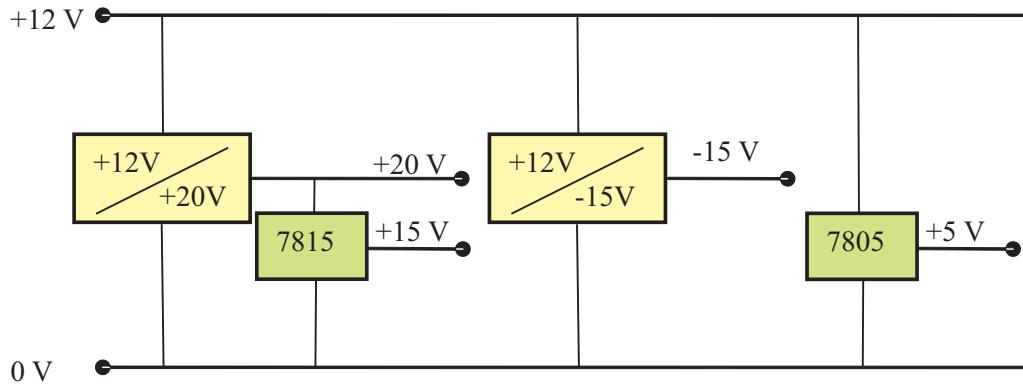
Obrázek 3.9: Vybíjecí charakteristika jednoho článku olověného akumulátoru

3.4.2 Napájecí měnič pro sondu

Napájecí napětí senzorů sondy (viz tabulka 3.5) neodpovídají napětí akumulátoru. Proto byl sestrojen obvod pracující jako DC/DC měnič. Jeho blokové schéma je uvedeno na obr. 3.10. Původní měřicí systém tento problém řešil transformátorem s několika odbočkami na sekundárním vinutí, neboť byl napájen z elektrické rozvodné sítě.

Navržený měnič pracuje především na základě těchto obvodů:

- DC/DC měnič MC33063A [14] - Tento obvod je možné použít k řízení pulsních měničů DC/DC. Vyznačuje se jednoduchým zapojením, dobrými parametry, snadnou dostupností a příznivou cenou. Rozsah vstupního napětí udávaný výrobcem je 3 až 40 V. Maximální spínáný proud je 1,5 A, který bohatě postačuje na pokrytí odběru jednotlivých prvků sondy. Udávaná účinnost obvodu v zapojení zvyšujícího měniče je 87,7%. Výstupní napětí je určeno poměrem odporů $R1$ a $R2$ podle vztahu (3.7). Odpory rezistorů $R1$ a $R2$ nejsou kritické, pokud je zapotřebí zajistit co nejmenší spotřebu obvodu v klidovém stavu, je možné zvolit hodnoty vyšší než doporučené. Rezistor R_{SC} je součástí obvodu omezující velikost výstupního proudu měniče, při limitaci proudu je na něm úbytek napětí zhruba okolo 0,3 V, taková situace konkrétně v této realizaci vzhledem k malému odběru měřicí sondy nehrozí (viz tabulka 3.5). Zvlnění výstupního napětí je maximálně 400 mV. Blokové



Obrázek 3.10: Blokové schéma zapojení DC/DC měniče

schéma zapojení obvodu je uvedeno na obr. 3.11 a schématické zapojení tohoto obvodu pro použití k napájení měřicí sondy je na obr. 3.12. Při realizaci napěťového měniče bylo použito doporučené zapojení od výrobce s pomocí [19].

$$V_{OUT} = 1,25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (3.7)$$

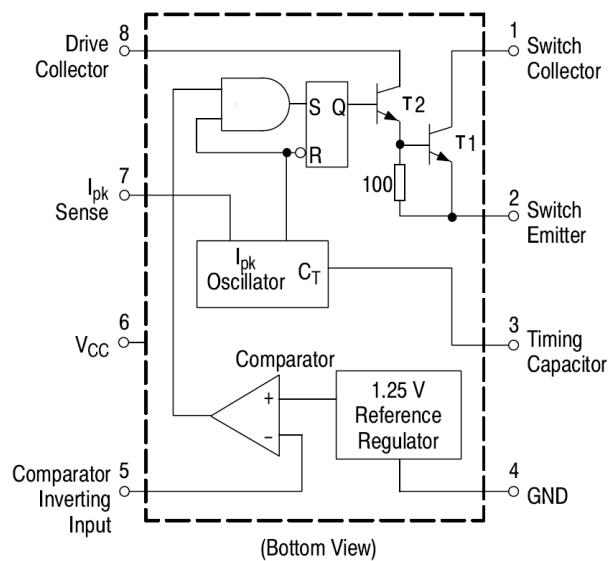
- operační zesilovač MA1458 [15] - Tento obvod je použit pro přesné zesílení signálu z D/A převodníku programovatelného modulu. Výstup D/A převodníku je v rozsahu $-5 \text{ V} \div +5 \text{ V}$. Z rozsahu D/A převodníku je použita pouze kladná polovina intervalu. Ventilátor sondy pracuje v rozsahu $0 \text{ V} \div +12 \text{ V}$. Proto je zapotřebí signál zesílit. Použijeme operační zesilovač v neinvertujícím zapojení (obr. 3.14). Jeho zesílení odpovídá vztahu (3.8). Hodnoty použitých rezistorů určíme podle vztahu (3.9).

$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (3.8)$$

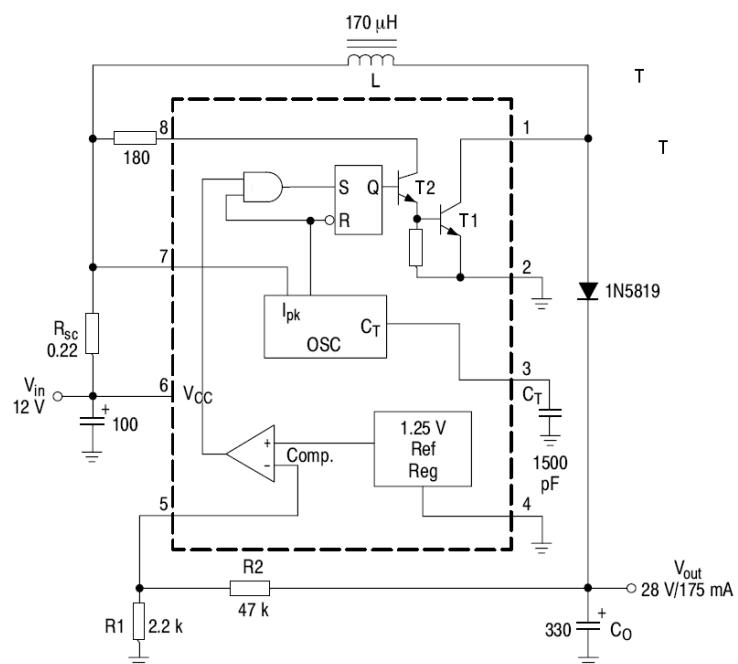
$$\frac{U_{vent}}{U_{D/A}} = \frac{12}{5} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$1,4R_1 = R_2 \quad (3.9)$$

- TIP140 [16] - Tento obvod v sobě sdružuje dva výkonové tranzistory v Darlingtonově zapojení (viz obr. 3.13) a slouží k proudovému zesílení signálu z operačního zesilovače a k přímému proudovému napájení motoru. Tento obvod se vyznačuje velkým rozsahem pracovních teplot a kompaktním pouzdrem, které může být přímo přišroubováno zevnitř k duralové krabičce řídicí jednotky k zajištění dostatečného odvodu tepla.



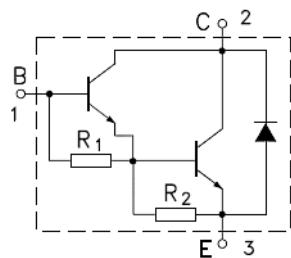
Obrázek 3.11: Blokové schéma pulsního měniče MC33063A



Obrázek 3.12: Schématické zapojení měniče MC33063A

Tabulka 3.5: Napájecí napětí sondy

Cíl napájení	Rozsah napětí [V]	Rozsah proudu [mA]
Napájení ventilátoru	0 ÷ 12	0 ÷ 2 000
Průtokoměr	5, 20	100
Podtlakový senzor	-15, 0, 15	80
Elektronika, displej, ...	12	300

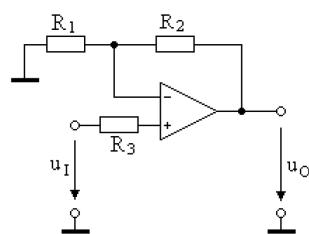


Obrázek 3.13: Vnitřní zapojení obvodu TIP 140

Celkové schéma zapojení napěťového měniče a seznam použitých součástek je uveden v příloze této práce.

3.4.3 Napájení embedded systému ICP CON

Rozsah napájecího napětí embedded systému (řídicí jednotky) je poměrně široký. Výrobce udává 10 - 30 V, ale modul pracuje spolehlivě již od 6 V. Vzhledem k tomu, že svorkové napětí 10 V je pro 12 V olověný akumulátor „smrtelné“ a řídicí jednotka se musí postarat o to, aby se takto nízké hodnoty nikdy nedosáhlo, bude embedded systém napájen přímo z akumulátoru. Embedded systém obsahuje vlastní napěťový stabilizátor pro přizpůsobení podmínek napájení.



Obrázek 3.14: Operační zesilovač v neinvertujícím zapojení

Kapitola 4

Návrh software

Program pro řídicí jednotku je napsán v programovacím jazyku C++. Vzhledem k tomu, že embedded systém je vybaven sériovým portem, je toto rozhraní využito pro komunikaci s osobním počítačem. Tak bude možno modul konfigurovat, kalibrovat a stahovat naměřená data do počítače k dalšímu zpracování. Pro správu měřicího systému a naměřených dat je vytvořena speciální aplikace ve vizuálním programovacím prostředí Turbo Delphi 2006, která využívá již vytvořenou knihovnu pro komunikaci po sériové lince. Program pro osobní počítač je určen pro operační systém *MS - Windows 95/98 a NT* .

4.1 Návrh software pro embedded systém

Hlavní požadavky na řídicí program jednotky jsou následující:

- řízení sondy, měření CFM, PID (PSD) zpětnovazební regulace podtlaku
- obsluha integrovaných vstupů a výstupů modulu
- obsluha a správa paměti FLASH pro ukládání naměřených hodnot
- obsluha paměti EEPROM pro ukládání parametrů měření
- obsluha displeje a kontrolek na modulu a sondě
- periodická kontrola stavu akumulátoru
- statistické zpracování naměřené hodnoty a její přepočet na CFM
- diagnostika modulu, testovací a servisní mód
- komunikace s počítačem
- jemné doladění kalibrace podtlakového senzoru při měření
- možnost procházet a vymazat naměřenou hodnotu

- jednoduché ovládání s použitím minimálního počtu tlačítek
- ochrana před nechtěným nebo několikanásobným stisknutím tlačítka

Řídicí software pro modul musí být dostatečně robustní a spolehlivý. Kritická chyba a následné ukončení programu, které by zapříčinilo ztrátu naměřených dat, musí být naprosto vyloučena. Proto je použita výhradně statická alokace paměti. Vzhledem k tomu, že řídicí software bude obsahovat blok PID (PSD) regulátoru, je nutné využít modulu reálného času v modulu, který zajistí deterministické chování regulační rutiny.

4.2 Návrh software pro osobní počítač

Vizualizační program pro správu modulu a naměřených dat obsahuje podle přání zadavatele tyto základní funkce:

- stažení, otevření, zobrazení a uložení naměřených dat z modulu
- export dat do běžných kancelářských programů (MS - Office, ...)
- procházení naměřených dat chronologicky a po blocích
- nastavení data a času v modulu
- diagnostika připojeného modulu
- zobrazení stavu paměti v modulu, možnost jejího vymazání
- nastavování kalibračních konstant

Program byl vytvořen s ohledem na maximálně jednoduché a intuitivní ovládání. Uživateli poskytuje všechny důležité informace a funkce v hlavní obrazovce, aby práce s ním byla co nejvíce efektivní a pružná.

Kapitola 5

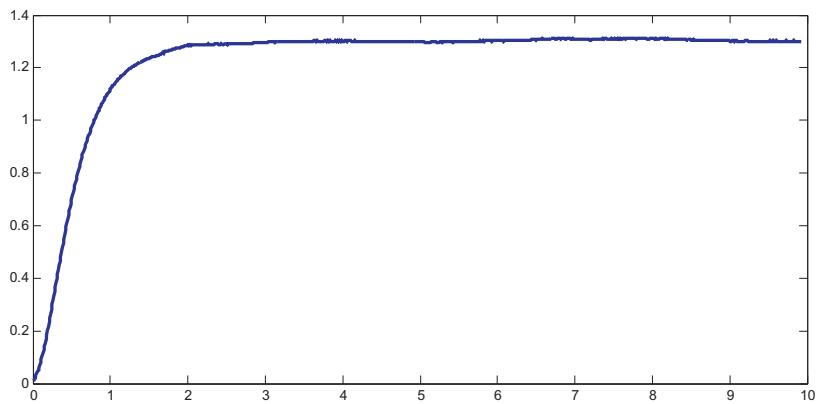
Identifikace měřicí sondy a syntéza regulátoru

Pro návrh regulačního obvodu, který bude splňovat zadané parametry regulace, je potřeba znát přenosovou funkci sondy - měřicího systému. Je to jednoduchý systém s jedním vstupem a jedním výstupem. Výstupem ze systému je hodnota z podtlakového snímače, vstupem do systému je napětí budící podtlakový ventilátor. Na základě buzení sondy zvláštním signálem a zaznamenávání výstupu byl pomocí identifikačního toolboxu v Matlabu stanoven vnější popis měřicí sondy, který byl následně použit k syntéze regulátoru. Identifikace probíhala v okolí pracovního bodu systému. Převodní charakteristika ventilátoru sondy (obr. 3.4) vykazuje drobné známky nonlinearity, které musí být vykompenzovány robustností navrženého regulátoru. Použitý *PID* regulátor [4] spolu se zpětnou vazbou vytváří dostatečně robustní regulační obvod, který postačuje na pokrytí nonlinearity v systému. Na regulační obvod samotný nejsou kladený žádné speciální nároky, nejdůležitější vlastností je nulová odchylka od zadané referenční hodnoty, dále pak výrazný překmit přechodové charakteristiky a pokud možno co nejrychlejší ustálení systému.

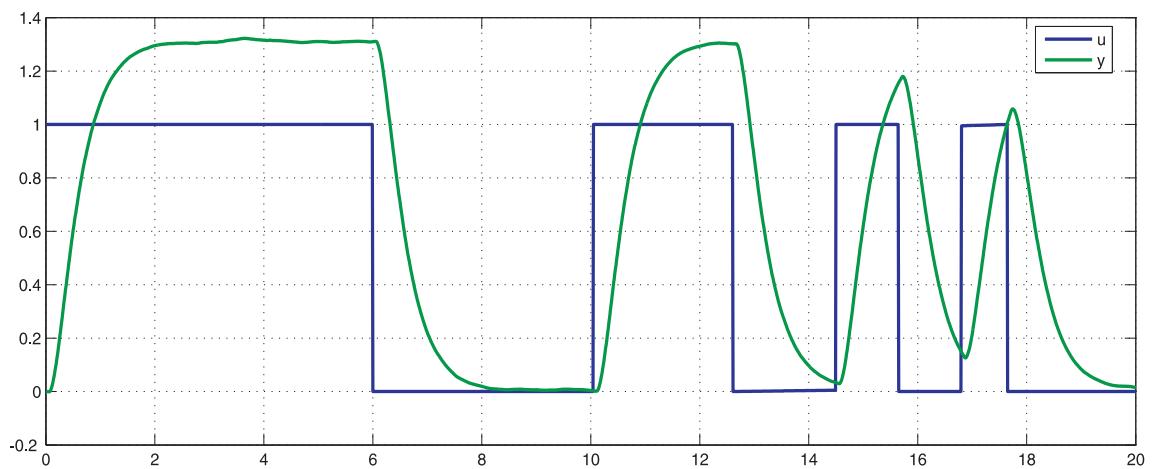
5.1 Přechodová charakteristika systému

K určení přenosové funkce byla použita odměřená přechodová charakteristika [3]. Je to odezva systému na skok řídicí veličiny v čase $t = 0$ z *nuly* na $2,62\text{ V}$, což je typická hodnota pro měření (pracovní bod odpovídající nejčastěji měřeným hodnotám). Pro identifikaci bylo odměřeno několik přechodových charakteristik. První, jednoduchá, přechodové funkce je znázorněna na obr. 5.1 a odpovídá odezvě systému na jednotkový skok. Pro identifikaci se však lépe hodí odezva na více členitý identifikační signál s proměnlivou frekvencí. Ten byl vytvořen s ohledem na

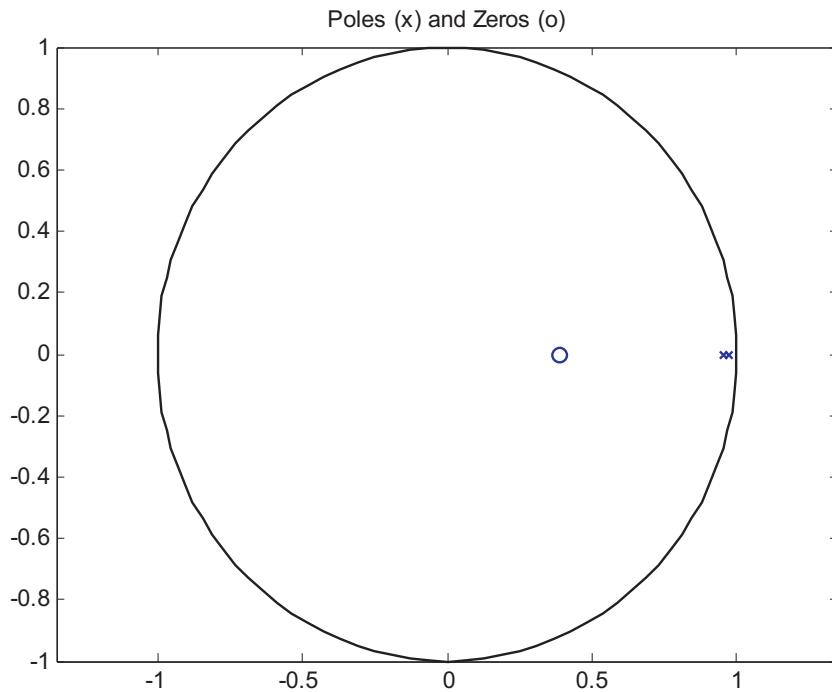
dynamiku systému (jeho rychlosť a dopravní zpoždění existující v systému) na základě prvního měření. Budící signál spolu s odezvou systému ukazuje obr. 5.2. Důležitým parametrem budícího signálu je vhodně zvolená střída a frekvence [5]. Je zapotřebí zvolit signál tak, aby vhodně budil systém. Z toho důvodu byla nejprve naměřena odezva na jednotkový skok, z které se orientačně odečetla doba náběhu systému a na základě této hodnoty byly zvoleny parametry budícího signálu pro identifikaci. Získaná data (vstup a výstup systému) byla použita pro identifikaci pomocí ARX modelu.



Obrázek 5.1: Odměřená přechodová charakteristika systému



Obrázek 5.2: Odezva systému na budicí signál pro identifikaci



Obrázek 5.3: Nuly a póly identifikovaného systému

5.1.1 Identifikace pomocí toolboxu Ident

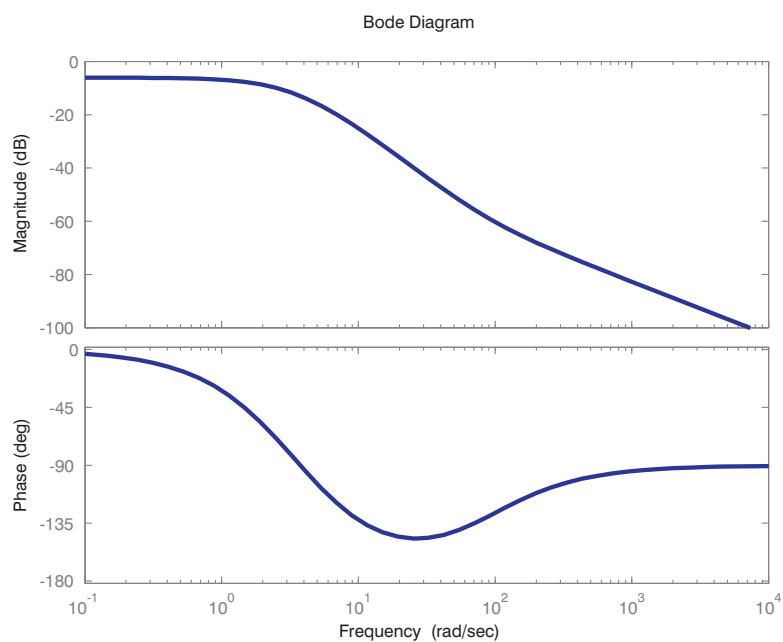
Identifikace modelu byla provedena pomocí identifikačního toolboxu Ident v Matlabu [12]. Řád soustavy byl zvolen ze získaných dat metodou nejmenších čtverců, což ve výsledku dalo vznik modelu s jednou nulou a dvěma póly. Takto zvolená aproximace systému je dostačující pro požadavky na kvalitu regulace.

Nastavení Ident toolboxu:

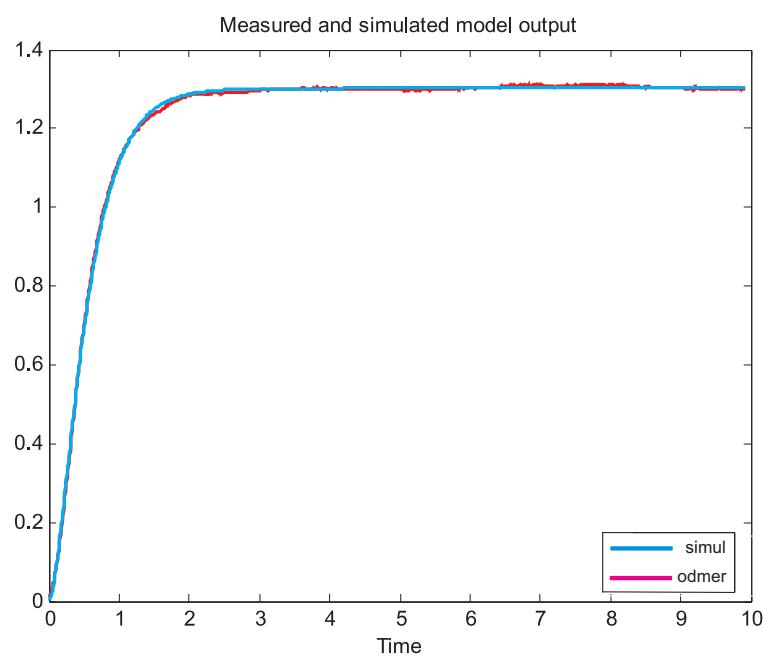
```
ARX model [na nb nk] = [2 3 1] Focus: Simulation, Initial
State:Auto, Covariance: Estimate
```

Výsledkem identifikace je model systému uvedený na obr. 5.5 (včetně porovnání se skutečným systémem).

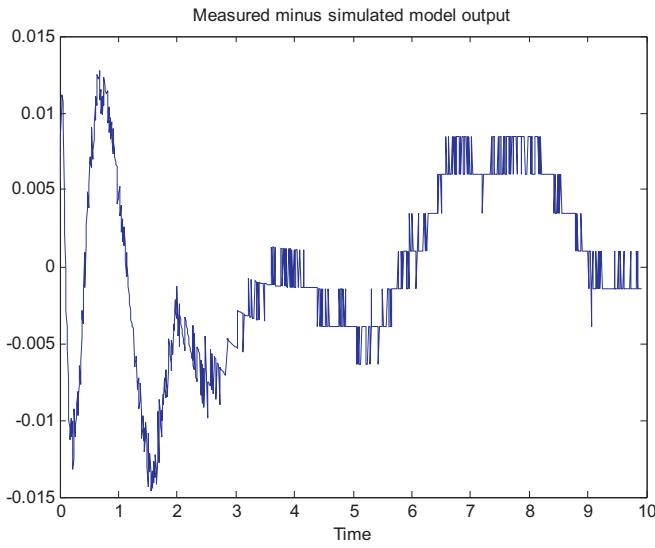
Na obr. 5.3 jsou znázorněny póly a nuly identifikovaného systému. Jedná se o diskretizovaný model s periodou vzorkování $Ts = 0,01s$. Při pohledu na obrázek zobrazující nulu a pól v jednotkové kružnici je evidentní, že systém je „převzorkovaný“ (vzorkovací perioda je příliš krátká), protože dvě nuly splývají téměř v jednu. Tak krátká vzorkovací perioda byla zvolena kvůli *Real Time* obvodu řídicího modulu, který nedovoluje změnu periody, s kterou volá řídicí rutinu. Frekvenční charakteristika sondy je uvedena na obr. 5.4.



Obrázek 5.4: Frekvenční charakteristika systému



Obrázek 5.5: Přechodová charakteristika systému



Obrázek 5.6: Průběh odchylky identifikace

5.1.2 Výsledný přenos identifikovaného systému

$$G(z) = \frac{0,001015z + 0,0003968}{z^2 - 1,926z + 0,9269} \quad (5.1)$$

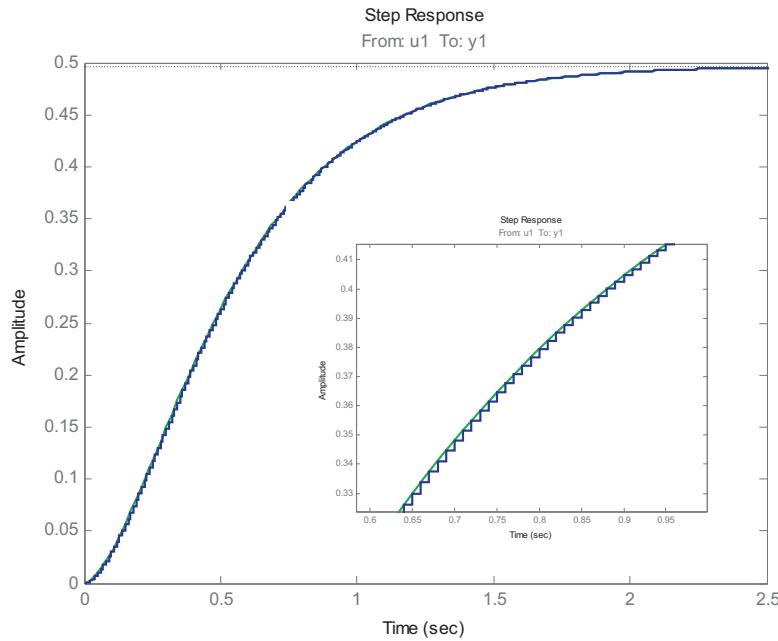
$$G(z) = \frac{0,0010148(z - 0,391)}{(z - 0,9746)(z - 0,951)} \quad (5.2)$$

$$G(s) = \frac{0,0729s + 6,419}{s^2 + 7,593s + 12,92} \quad (5.3)$$

$$G(s) = \frac{0,072904(s + 88,05)}{(s + 5,019)(s + 2,574)} \quad (5.4)$$

5.2 Syntéza regulátoru

V systému byl použit softwarově implementovaný PSD regulátor, který svými vlastnostmi plně vyhovuje zadanému problému. Jistě by mohl být navržen jiný - moderní - systém regulace - například regulátor s konečným počtem kroků nebo časově a energeticky optimální regulátor [1]. Takový regulátor je však mnohem náročnější na výpočetní kapacitu procesoru a žádné zásadní vylepšení na kvalitu regulace nepřináší. Výsledný PSD regulátor byl navržen pomocí nástroje RLTOOL v Matlabu. Průběh geometrického místa kořenů je uveden na obr. 5.8, vlastnosti



Obrázek 5.7: Porovnání spojitého a diskrétního modelu

regulačního obvodu udává tabulka 5.1. Celkové schéma uzavřené smyčky regulačního obvodu je na obr. 5.9. Při návrhu regulátoru byl kladen důraz především na rychlé ustálení systému, které zkracuje dobu měření, nulovou odchylku od zadанého hodnoty, která zajišťuje dobrou přesnost měření, a výrazný překmit po startu měření, který odstraňuje zjištěnou negativní vlastnost vrtulkového průtokoměru měřicí sondy.

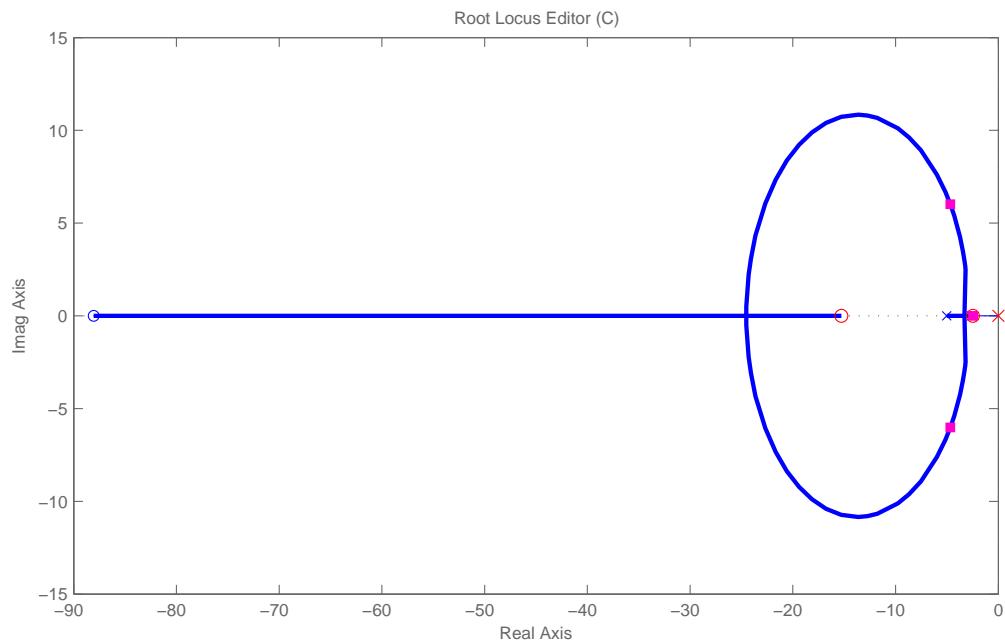
Výsledný přenos regulátoru byl stanoven následovně:

$$R(s) = \frac{0,615s^2 + 10,91s + 23,18}{s} \quad (5.5)$$

$$R(z) = \frac{0,001015z - 0,0003967}{z^2 - 1,926 + 0,9269} \quad (5.6)$$

5.2.1 Odezva regulované soustavy na jednotkový skok

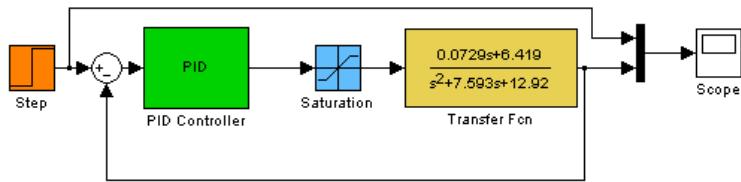
Výrazný překmit soustavy, který zaujme na první pohled, není chybou v návrhu regulátoru, nýbrž cíleně zvoleným kritériem. Výrazný překmit při startu měření znatelně zkracuje dobu ustálení soustavy a má pozitivní vliv na senzor průtoku. Při měření v praxi byly za určitých okolností pozorovány problémy při měření sít s velmi malou propustností (CFM 10 - 20). Senzor průtoku se v některých případech vůbec nerozeběhl - průtok vzduchu sondou byl tak malý, že nebyl schopen překonat tření ani v jemných ložiskách průtokoměru. Výrazný překmit v soustavě



Obrázek 5.8: GMK uzavřené smyčky soustava - regulátor

Tabulka 5.1: Tabulka parametrů navrženého regulátoru

označení	název	hodnota
DF [°]	fázová bezpečnost	45
ω_d	zlom asymptot derivační složky	22,16
ω_i	zlom asymptot integrační složky	2,216
T_d	derivační časová konstanta	0,04513
T_i	integrační časová konstanta	0,4513
r_0	proporcionální konstanta	15,0846
r_1	derivační konstanta	0,6807
r_{-1}	integrační konstanta	33,4275
t_r	doba náběhu	0,0748
τ	časová konstanta	0,3975
$e(\infty)$	trvalá regulační odchylka	0



Obrázek 5.9: Schématické znázornění regulačního obvodu

při startu měření přináší dostatečně silný impuls k tomu, aby se senzor rozeběhl a měřil korektní hodnotu.

5.2.2 Praktické odzkoušení navrženého regulátoru

Následující odstavec ukazuje výsledky dosažené praktickým zkoušením regulátoru. Na obr. 5.10 je zobrazena přechodová charakteristika uzavřené regulační smyčky odpovídající měření na sítu s nízkou propustností (50 CFM). Na obr. 5.10 je zobrazena stejná přechodová charakteristika, odměřená při měření síta se střední hodnotou propustnosti (230 CFM). Na obr. 5.12 je zobrazena přechodová charakteristika pro síto s vysokou hodnotou propustnosti (530 CFM). Ze všech charakteristik je patrné, že navržený regulátor splňuje zadaná kritéria. Doba ustálení systému je přibližně jedna sekunda, výrazný překmit přechodové charakteristiky zajišťuje bezproblémový rozběh průtokoměru. Na obr. 5.13 je zobrazen průběh chybové situace, kdy během měření dojde k narušení kontaktu mezi hubicí sondy a měřeným sítem (sklouznutí sondy) a opětovnému navrácení sondy do správné polohy. Z průběhu je patrný nárůst akční veličiny, způsobený náhlým poklesem podtlaku v sondě díky špatnému kontaktu s měřeným sítem. Takováto situace je dále ošetřena prodloužením (resp. nastavením) doby ustálení systému (viz kapitolu 6).

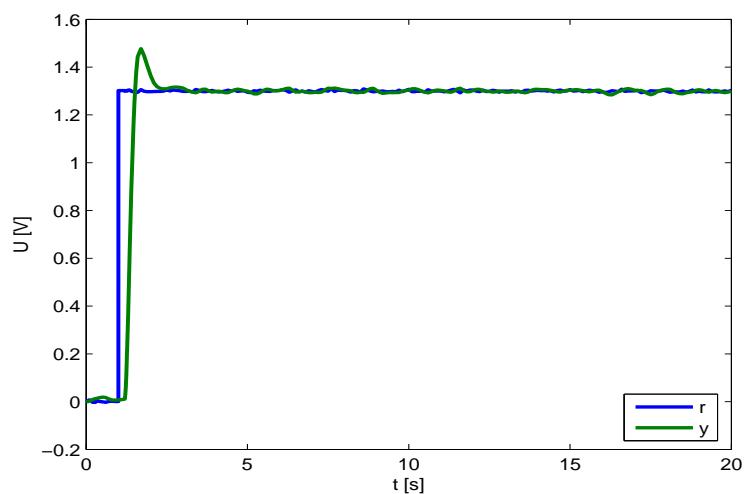
5.2.3 Ověření splnění požadavků na kvalitu regulace

Před návrhem regulačního obvodu byly stanoveny některé parametry. Porovnání požadovaných a dosažených parametrů kvality regulace ukazuje tabulka 5.2.

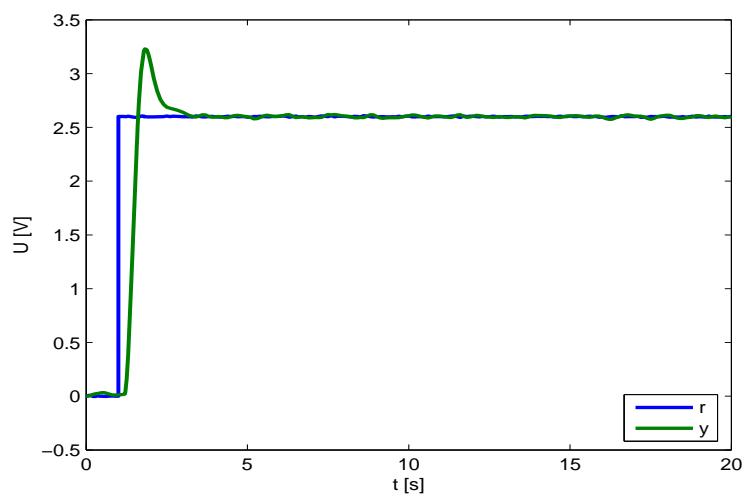
Navržený regulátor splňuje zvolené parametry, je dostatečně robustní k poruchám vyskytujícím se v systému a jeho vlastnosti vyhovují pro zvolenou aplikaci. V kapitole 6 je uveden algoritmus umožňující softwarovou realizaci samotného regulátoru, který je integrován do řídicího programu v programovatelném modulu.

Tabulka 5.2: Porovnání požadovaných a skutečných parametrů regulátoru

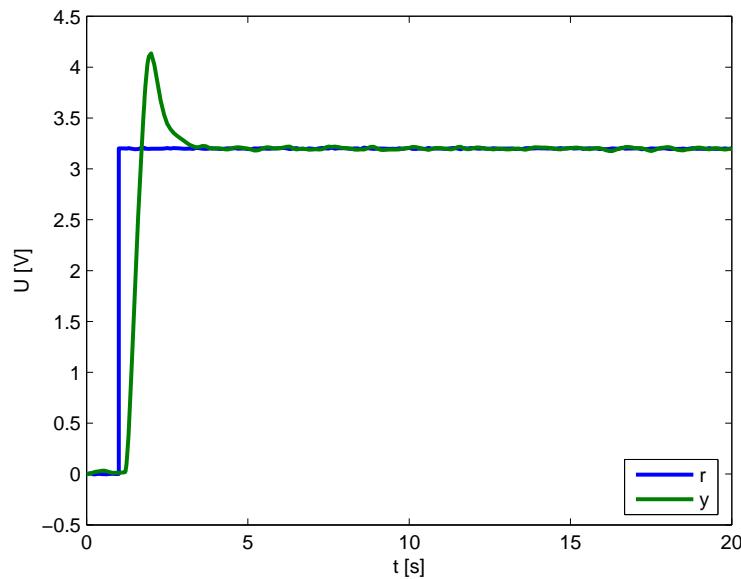
vlastnost	požadovaná hodnota	dosažená hodnota	splněno
doba ustálení	5 s	2 s	ano - s rezervou
výrazný překmit	10 % - 30 %	10 % - 20 %	ano - v toleranci
regulační odchylka	max 5 %	menší než 2 %	ano - s rezervou
doba náběhu	max 3 s	menší než 2 s	ano - s rezervou



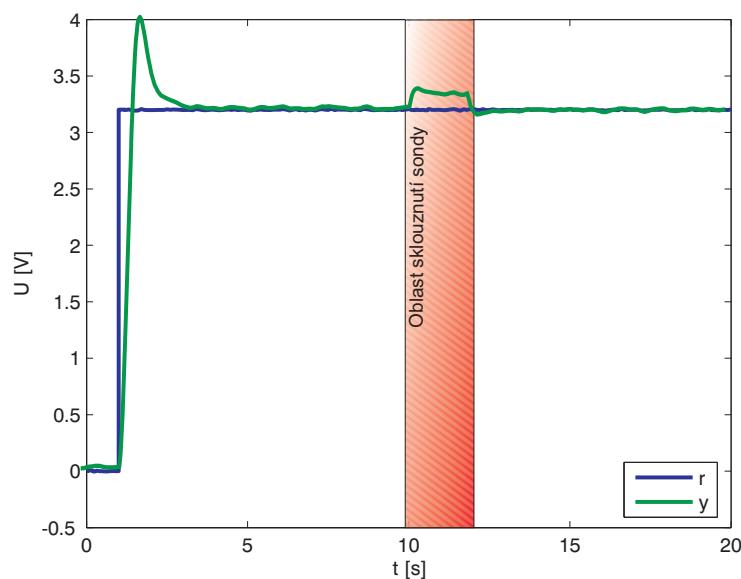
Obrázek 5.10: Odměřená přechodová charakteristika v dolní oblasti



Obrázek 5.11: Odměřená přechodová charakteristika ve střední oblasti



Obrázek 5.12: Odměřená přechodová charakteristika v horní oblasti



Obrázek 5.13: Měřená přechodová charakteristika se sklouznutím sondy

Kapitola 6

Realizace software pro řídicí jednotku

Řídicí aplikace pro embedded systém ICP CON 7188XB byla vytvořena v programovacím jazyce C++ [9]. Zajišťuje kompletní provoz měřicího systému včetně komunikace s osobním počítačem. Využití *Real Time* vlastností operačního *MiniOS7*, na kterém vytvořený program v embedded modulu běží, umožňuje rozčlenění programu na několik podúloh (vláken). Celý program je uspořádán podle blokového schématu na obr. 6.1. Priority jednotlivých vláken jsou odstupňovány podle důležitosti konkrétních funkcí, které obstarávají. Jednotlivé funkce jsou stručně rozepsány (sestupně podle priority) v následujícím odstavci:

1. funkce jádra řídicího systému:

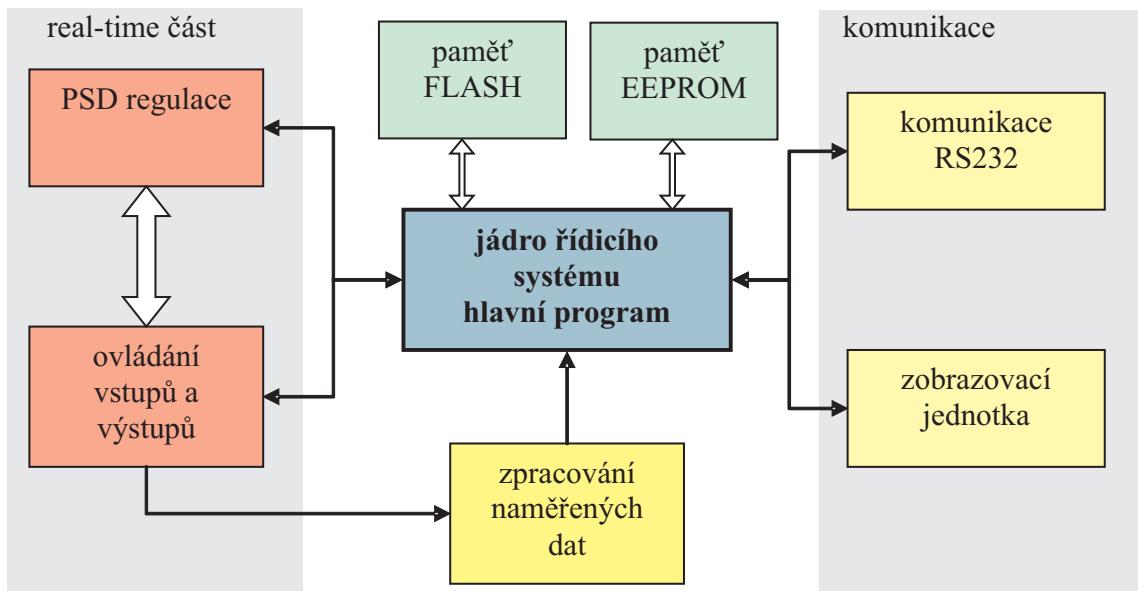
- softwarová realizace PID (PSD) regulátoru
- periodický test napětí baterie ve zvolených intervalech
- čtení digitálních vstupů (tlačítka a přepínače)
- test ustálení systému při měření a odečet dat při ustálení
- test zaseklého průtokoměru

2. funkce pro ovládání vstupů a výstupů

- obsluha přepínače start/stop měření na sondě
- vyhodnocení stisků tlačítek
- ovládání analogových vstupů a výstupů
- ovládání kontrolek na sondě a řídicí jednotce

3. funkce pro správu paměti flash a EEPROM

- uložení naměřených dat včetně data a času s možností stornování obsluhou
- flash paměť: přístup podle bloků 64kB
- vymazání celého bloku



Obrázek 6.1: Blokové schéma řídicího programu

- načtení všech uložených dat z flash paměti
- uložení právě naměřené hodnoty do flash paměti
- nalezení nejbližšího volného místa k zápisu
- načtení kalibrace z EEPROM
- zapsání kalibrace do EEPROM
- načtení koeficientů přepočtu z EEPROM
- zapsání koeficientů přepočtu do EEPROM

4. funkce pro komunikaci s osobním počítačem

- změna koeficientů kalibrace přepočtu
- nastavení hodin reálného času v modulu
- test připojení modulu k PC
- odeslání všech naměřených dat do počítače
- test kalibrace
- další diagnostické funkce

5. funkce pro zobrazení údajů na displeji

- zobrazení naměřených dat na displeji
- zobrazení stavu baterie graficky na displeji
- zobrazení ostatních informativních údajů

6.1 Funkce jádra řídicího systému

Jedná se o klíčové funkce měřicího systému, které zajišťují vykonávání základních operací. Vlákno obsluhující jejich kód má nejvyšší prioritu.

6.1.1 Softwarová realizace PID (PSD) regulátoru

Softwarový PSD regulátor je tvořen smyčkou, která podle zadaných konstant vypočítává akční veličinu určenou k buzení zesilovače podtlakového ventilátoru. Parametry regulátoru jsou proporcionalní, integrační (sumační) a derivační konstanta. Ty jsou nastaveny na základě identifikace a syntézy regulačního obvodu. Proporcionalní složka se na výstupu regulátoru projevuje jako násobek rozdílu požadované hodnoty a aktuálního vstupu do systému (reference). Derivační složka se vypočítává jako násobek změny (diference) hodnoty vstupní veličiny od poslední iterace. Integrační konstanta se vypočítává jako násobek akumulované odchylky zadáné a aktuální hodnoty vstupu. Při každém iteračním kroku regulátoru se kontrolují saturační meze všech vnitřních proměnných, které by neměly (tak jako u běžného PID regulátoru) překročit zadané meze představující limity výstupní veličiny. Výsledný akční zásah regulátoru do soustavy se vypočítá jako součet proporcionalní, derivační a integrační složky.

```
float PID_Controller(float odchylka) {
    static float integral, derivace, akcni_zasah, odchylka_old;
    // AntiWindUp jednotlivych slozek
    if (integral < -integ_lim) {integral = -integ_lim;}
    if (integral > +integ_lim) {integral = +integ_lim;}
    if (derivace < -deriv_lim) {derivace = -deriv_lim;}
    if (derivace > +deriv_lim) {derivace = +deriv_lim;}

    // I~regulator
    integral = (I_reg*odchylka) + integral;
    // D regulator
    derivace = D_reg*(odchylka + odchylka_old);
    // PID
    akcni_zasah = ((P_reg*odchylka) + integral + derivace);

    // Saturace akcniho zasahu do intervalu <0; U_end>
    if (akcni_zasah < 0) {akcni_zasah = 0;}
    if (akcni_zasah > U_end) {akcni_zasah = U_end;}
    odchylka_old = odchylka;
    return akcni_zasah;
}
```

6.1.2 Periodický test napětí akumulátoru

Životnost olověného akumulátoru, který slouží k napájení měřicího systému, je velmi závislá na provozních podmínkách. Zvláště citlivý je olověný akumulátor na pokles svorkového napětí pod určitou hranici. Proto je nutné periodicky kontrolovat stav napětí na svorkách a v případě poklesu pod zadanou hodnotu zamezit dalšímu vybíjení akumulátoru. Odměr svorkového napětí se provádí každou sekundu. Při vyhodnocování napětí je zapotřebí brát v úvahu, zda byl měřicí systém v klidu (malý odběr), nebo zda během odměru pracoval (krátkodobý velký odběr). Řešení tohoto problému spočívá ve výpočtu klouzavého průměru z naměřených hodnot. Tímto způsobem se získá trend průběhu napětí na svorkách akumulátoru, který by neměl poklesnout pod zadanou mez. V případě poklesu napětí pod kritickou hodnotu je uživatel měřicího systému upozorněn signalizací na displeji zařízení na tuto skutečnost. Vzhledem k povaze nasazení měřicího systému nedojde k zastavení měření ani při podkritickém napětí akumulátoru. Je tedy na uživateli samotném, zda bude pokračovat v měření.

6.1.3 Čtení digitálních vstupů (tlačítka a přepínače)

Tlačítka a přepínače na měřicím systému jsou připojeny prostřednictvím digitálních vstupů do embedded systému. Při vyhodnocování musí řídicí program odfiltrovat zákmit kontaktů při stisku tlačítka, který by jinak mohl znamenat několikanásobný „stisk“ tlačítka. Vyhodnocení digitálních vstupů tedy probíhá každých 50 ms. Vzhledem k omezenému počtu digitálních vstupů a požadavku na co nejmenší počet ovládacích prvků je funkce některých tlačítek zdvojena (ztrojena) odlišením doby stisku konkrétního tlačítka. Krom stisku tlačítka se zaznamenává i doba, po kterou bylo tlačítko v poloze sepnuto pro další použití.

6.1.4 Test ustálení systému při měření a odečet dat při ustálení

Odečet naměřených dat je možno provádět jedině při ustálení systému. Stav ustálení může nastat po splnění všech následujících podmínek:

- k ustálení systému nemůže dojít dříve než po určité konstantní době od startu měření (tato doba je stanovena na základě měření a praktických testů na 17 sekund)
- ustálení systému nemůže nastat, pokud je maximální rozdíl naměřených hodnot po dobu posledních 5 s větší než 5 % ze zadané referenční hodnoty regulačního systému
- stav ustálení již nemůže nastat, pokud k ustálení nedošlo do 60 s od startu měření
- ustálení nemůže již nastat, pokud se měřená hodnota dostala během měření k dolní nebo horní saturaci (rovněž je diagnostikována porucha senzoru)

Pokud v systému došlo k ustálení, začne odečet dat z průtokoměru. Odečet dat trvá vždy konstantní dobu 5 sekund. Hodnota průtokoměru se odečítá každých 10 ms. Výsledkem je tedy 500 naměřených hodnot, které se uloží v paměti pro další zpracování.

6.1.5 Test zaseklého průtokoměru

V průběhu praktických zkoušek měřicího systému byla zjištěna následující negativní vlastnost průtokového senzoru, která již byla diskutována v odstavci syntézy regulačního obvodu. I přesto, že konstanty regulátoru byly pozmeněny tak, že k podobnému problému již nedocházelo, byl v řídicím programu záměrně ponechán kód, který tento problém diagnostikuje a zamezuje tak naměření neplatných hodnot. V případě zjištění podobných problémů je měření restartováno a tato událost je zapsána do diagnostického registru.

6.2 Funkce pro ovládání vstupů a výstupů

Priorita následujících funkcí je nižší než priorita výše zmíněných, ale i tak zůstává poměrně vysoká.

6.2.1 Obsluha přepínače start/stop měření na sondě

Signál z přepínače na sondě je přes datový kabel přiveden až k digitálnímu vstupu řídicí jednotky. Na náběžnou hranu tohoto signálu je spuštěno měření, pokud jsou splněny následující podmínky:

- měřicí systém je připraven k měření
- neprobíhá zápis naměřených hodnot (start měření je odložen)
- neprobíhá komunikace s osobním počítačem

Je-li měření úspěšně spuštěno, je možné pomocí tohoto tlačítka kdykoliv měření zastavit. Pokud je měření dokončeno (ať úspěšně nebo neúspěšně), dojde k zastavení podtlakového ventilátoru.

6.2.2 Vyhodnocení stisků tlačítek

V této části kódu jsou vyhodnocovány stisky tlačítek v závislosti na stavu měřicího systému (aktuálním režimu) a délce stisku tlačítka tak, jak tyto údaje předá této funkci vlákno s vyšší prioritou. Funkce tlačítek jsou následující:

Tabulka 6.1: Přehled tlačítek

tlačítko	délka stisku	funkce
červené tlačítko	dlouhý stisk	vymazání naměřených dat (aktuálně zobrazeného údaje)
žluté	velmi dlouhý stisk	vymazání flash paměti s naměřenými daty
	dlouhý stisk	zapsání dat do flash paměti
	krátký stisk	zobrazení stavu paměti
modré 1 a 2	krátký stisk	listování v poli naměřených dat (krok po jednom) změna kalibrace podtlakového senzoru
	dlouhý stisk	listování v poli naměřených dat (krok po deseti)

6.2.3 Ovládání analogových vstupů a výstupů

Tato funkce zajišťuje obsluhu analogově - digitálních (A/D) a digitálně - analogových (D/A) převodníků na rozšiřující kartě embedded systému. Zároveň umožňuje diagnostikovat chybu převodu. Výsledky jsou pak:

- odečet dat z průtokoměru
- odečet dat z podtlakoměru
- odečet napětí akumulátoru
- ovládání napájení motoru ventilátoru

Vstupní i výstupní hodnoty jsou k dispozici v patřičně pojmenovaných proměnných s plovoucí desetinou čárkou. Hardwarová přesnost vstupů i výstupů je dána 12 bitů.

6.2.4 Ovládání kontrolek na sondě a řídicí jednotce

Tato funkce zajišťuje převod kontrolních signálů, diagnostických stavů a režimů měřicího systému na kontrolky (LED) umístěné na řídicí jednotce.

6.3 Funkce pro správu paměti flash a EEPROM

Modul je vybaven pamětí typu flash a EEPROM. Obě paměti se liší svou architekturou a tím i určení k použití. U paměti typu flash výrobce udává životnost jeden milion zapisovacích cyklů, u paměti EEPROM je to přibližně desetkrát méně. Paměť flash bude tedy využívána k zápisu naměřených hodnot. Je zálohována lithiovou baterii. EEPROM paměť bude využívána k uložení kalibračních konstant a ostatních nastavení, u kterých se nepředpokládá jejich častá změna.

6.3.1 Rozdělení paměti flash

Modul je vybaven $512 kB + 512 kB$ pamětí typu flash. Tato paměť je kompletně k dispozici pro programátora modulu. Je v ní tedy uložen jednak uživatelský program (program řídicího systému), tak data. Tato paměť je rozdělena do šestnácti bloků po $64 kB$. Spodní polovina bloků je vyhrazena pro uživatelský program ($512 kB$, aktuální velikost programu je $46\,432 B$). Zbylá část je určena pro zápis naměřených dat. Zápis do paměti a čtení z ní je možno provádět náhodně podle zadané adresy. Problém nastává v okamžiku přepisu nebo vymazání dat. Technická realizace obvodů neumožňuje náhodný přepis či vymazání hodnot. Data lze vymazávat pouze zrušením celého bloku o velikosti $64 kB$. Tuto poměrně nepraktickou vlastnost musí ošetřit řídicí program. Požadavky na práci s flash pamětí včetně řešení problému jsou následující:

- uložení naměřených údajů do paměti - nejprve je nutné najít první volné místo ve flash paměti - po vymazání celého bloku paměti jsou všechny byty nastaveny na *log. jedničku*. Nejbližší volné místo se tedy nalezne v okamžiku nalezení dat se samými jedničkami (ošetření možné kolize bude vysvětleno později). Je tedy nutné při každém zápisu dat procházet celou dosud zapsanou paměť a hledat první volné místo. Praktické zkoušky ukázaly, že vyhledání volného místa v paměti (při obsazenosti 95 %) trvá přibližně 20 ms, což je zanedbatelná hodnota. K zápisu hodnot navíc nedochází po jednom naměřeném údaji, nýbrž po naměřených blocích.
- načtení dat z paměti - ke čtení obsahu paměti dochází pouze při přenosu naměřených dat do osobního počítače. Čtení probíhá vždy od počátku paměti naměřených hodnot až do posledního obsazeného místa v paměti.
- vymazání naměřených dat - k vymazání dochází pouze na žádost uživatele. Tu je možné provést velmi dlouhým stiskem ovládacího tlačítka, nebo z programu pro PC. Při odstraňování dat dojde k vymazání celého bloku.

6.3.2 Organizace flash paměti

Do flash paměti se kromě samotné naměřené hodnoty ukládá i den, měsíc, rok, hodina, minuta a sekunda okamžiku pořízení naměřené hodnoty a diagnostický údaj stavu měřicího systému v okamžiku měření. Pro všechny tyto údaje je použito zvláštního bloku flash paměti tak, jak naznačuje schéma. Celkem je použito 5 bloků. Kapacita jednoho bloku flash paměti je $64 kB$. Hodnota o naměřené propustnosti síta je uložena v proměnné typu double, která na platformě *MiniOS7* zabírá *4 byte*. Informace o struktuře dat v paměti udává tabulka 6.2, detailněji pak tabulka 6.3.

Tabulka 6.2: Organizace flash paměti

blok	údaj	typ	velikost
1. blok	naměřená hodnota CFM	double	4 byte
2. blok	hodina	int	2 byte
	minuta	int	2 byte
3. blok	sekunda	int	2 byte
	rok	int	2 byte
4. blok	měsíc	int	2 byte
	den	int	2 byte
5. blok	diagnostický příznak	long	4 byte

Tabulka 6.3: Organizace flash paměti (detailněji)

adresa	0xE000	0xD000	0xC000	0xB000	0xA000
1. byte	CFM	hod, min	sek, rok	měsíc, den	diagnostika
2. byte	4 byte	2 + 2 byte	2 + 2 byte	2 + 2 byte	4 byte
3. byte	...	...	...	...	...
4. byte	...	...	...	...	...
5. byte	10010010	10010010	10010010	10010010	10010010
6. byte	10100101	10100101	10100101	10100101	10100101
7. byte	10010010	10010010	10010010	10010010	10010010
8. byte	10010001	10010001	10010001	10010001	10010001
9. byte	10010010	10010010	10010010	10010010	10010010
10. byte	10100101	10100101	10100101	10100101	10100101
11. byte	10010010	10010010	10010010	10010010	10010010
	10010001	10010001	10010001	10010001	10010001
...
...					
x. byte	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111
x+1. byte	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111
x+2. byte	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111
x+3. byte	11111111	11111111	11111111	11111111	11111111

Hledání nejbližšího volného indexu probíhá tak, že se sekvenčně prochází 1. paměťový blok. Pokud se v něm naleznou samé jedničky na všech 4 bytech, zkонтrolují se i hodnoty v ostatních blocích. Pokud vezmeme v úvahu, že se kontrolují i byty obsahující informace o datumu a času měření, je možné prakticky vyloučit kolizi zápisu na již obsazené místo v paměti. Pokud nejsou ve všech blocích nalezeny samé logické jedničky, pokračuje v hledání dál. Tímto způsobem se podařilo vyřešit problém s přístupem do paměti flash a zajistit tak možnost zápisu dat.

6.3.3 Použití paměti EEPROM

Paměť typu EEPROM slouží především ke čtení dat. Umožňuje rovněž i zápis, ale její technická realizace nepředpokládá jeho příliš časté použití. Primární využití paměti EEPROM v embedded systému je k načítání konstant. Používá se ke dvěma účelům:

- koeficienty A, B, C, D určené pro přepočet naměřeného průtoku sondou na hodnotu CFM
- jemné nastavení referenční hodnoty regulátoru

6.3.4 Obsluha paměti EEPROM

Programovatelný modul obsahuje 64 bloků EEPROM paměti. Každý blok se skládá z 256 bytů paměti. Celkem je tedy možné použít 64 kB paměti EEPROM. Požadavky na paměť jsou značně menší než možnosti systému. Zapotřebí je pouze 16 B pro koeficienty A, B, C, D (4×4 B) a 4 B pro jemné nastavení referenční hodnoty regulátoru. Číst data z paměti EEPROM je možné náhodně, stejně tak jako provádět zápis na libovolnou adresu (na rozdíl od paměti *flash*). Před provedením zápisu se však musí paměť přepnout do režimu povolení zápisu a po dokončení opět přepnout do normálního režimu. Zápis i čtení jsou výrazně časově náročnější než u paměti typu flash (zápis jedné hodnoty ≈ 20 ms). Proto se provádějí operace čtení pouze při startu měřicího systému nebo při přenastavení této hodnoty. Informace o struktuře dat v paměti EEPROM uvádí tabulka 6.4.

6.4 Funkce pro komunikaci s osobním počítačem

Komunikace měřicího systému s osobním počítačem je další klíčovou vlastností. Vzhledem k tomu, že se nepředpokládá současně probíhající měření a komunikace, je priorita komunikace zařazena až na nižší stupeň. Embedded systém je vybaven dvěma sériovými rozhraními. Jedná se o *RS-232* (COM1) a *RS-485* (COM2). Modul se bude připojovat k osobnímu počítači v kancelářském (nikoliv průmyslovém) prostředí krátkým kříženým sériovým kabelem, proto se

Tabulka 6.4: Organizace EEPROM

blok/adresa	1	2	...	6	7	...	64
1	0	0	...	A byte1	0	...	0
2	0	0	...	A byte2	0	...	0
3	0	0	...	A byte3	0	...	0
4	0	0	...	A byte4	0	...	0
5	0	0	...	B byte1	0	...	0
6	0	0	...	B byte2	0	...	0
7	0	0	...	B byte3	0	...	0
8	0	0	...	B byte4	0	...	0
9	0	0	...	C byte1	0	...	0
10	0	0	...	C byte2	0	...	0
11	0	0	...	C byte3	0	...	0
12	0	0	...	C byte4	0	...	0
13	0	0	...	D byte1	0	...	0
14	0	0	...	D byte2	0	...	0
15	0	0	...	D byte3	0	...	0
16	0	0	...	D byte4	0	...	0
17	0	0	...	kalib. byte1	0	...	0
18	0	0	...	kalib. byte2	0	...	0
19	0	0	...	kalib. byte3	0	...	0
20	0	0	...	kalib. byte4	0	...	0
...
255	0	0	...	0	0	...	0

ke komunikaci používá rozhraní *RS-232*. Během datové výměny s osobním počítačem se modul chová jako podřízené zařízení (slave) a osobní počítač jako nadřazené zařízení (master). Komunikační protokol je uveřejněn v kapitole 8. Řídicí software musí umožňovat následující komunikační funkce (viz odstavce 6.4.1 ÷ 6.4.5).

6.4.1 Test připojení modulu

Aplikace na osobním počítači se neustále dotazuje na přítomnost připojeného modulu. Při obdržení požadavku na test připojení modul odpovídá potvrzením. Tímto způsobem rovněž modul zjišťuje připojení k počítači a přechází do režimu omezené funkčnosti. V tomto režimu není dovoleno spouštět měření ani provádět jemné doladění kalibrace. Během datové výměny mezi modulem a počítačem není zapotřebí mít připojenou měřicí sondu. Komunikační příkaz testu připojení se vysílá ze strany nadřazené stanice periodicky, a pokud není řídicí jednotkou obdržen po určitou dobu, přechází opět do normálního režimu.

6.4.2 Změna koeficientů kalibrace přepočtu

Uživatel má možnost prostřednictvím programu pro osobní počítač změnit parametry přepočtu naměřeného průtoku na hodnotu CFM. Po obdržení příkazu na změnu kalibračních konstant provede modul zápis do paměti EEPROM a kontrolu zápisu. V kladném případě je odesláno potvrzení provedení příkazu.

6.4.3 Nastavení data a času v modulu

Kromě naměřených hodnot se do paměti ukládá i čas jejich pořízení. Proto je zapotřebí udržovat hodiny reálného času v modulu správně seřízené. Po připojení modulu k osobnímu počítači vysílá počítač periodicky dotaz na aktuální čas v modulu. Ten je zobrazen v okně aplikace a zároveň je kontrolována i odchylka od hodin počítače. Pokud je zjištěn rozdíl větší než 1 hodina, je uživateli zobrazena varovná hláška. Hodiny v modulu je možné seřídit z prostředí aplikace.

6.4.4 Odeslání všech naměřených dat do počítače

Stěžejní funkcí komunikace modulu a osobního počítače je možnost odeslat naměřená data z modulu do počítače. Na žádost počítače začne modul procházet pamětí a postupně odesílat všechna naměřená data. Krom samotných hodnot CFM odesílá i index měření, datum a čas měření konkrétní hodnoty a diagnostický příznak, který byl zaznamenán během měření konkrétní hodnoty.

6.4.5 Diagnostické a ostatní funkce

Do této skupiny je zařazeno několik komunikačních příkazů, které byly používány na odladění funkčnosti měřicího zařízení. Prostřednictvím těchto funkcí je možné přepínat modul do nestandardních režimů a získávat z něho různé hodnoty a informace. Mezi hlavní funkce patří:

- přechodová charakteristika - provede odměření hodnot přechodové charakteristiky sondy a získané hodnoty odešle do připojeného počítače
- proměnné regulátoru - modul odesílá během měření do připojeného počítače klíčové proměnné PSD regulátoru (proporcionální, sumační a diferenční složku, saturační proměnné, referenční hodnotu, odchylku od reference, okamžik ustálení systému, ...)
- diagnostika naměřených hodnot - modul po odměru odešle veškeré naměřené hodnoty (500 hodnot)
- ruční ovládání sondy, ovládání sondy prostřednictvím sériového terminálu

6.5 Funkce pro zobrazení údajů na displeji

Modul je vybaven pěti sedmi-segmentovými displeji. Kromě omezeného množství kontrolek (LED) je to jediný způsob komunikace s uživatelem během měření. Je tedy nutné na tento omezený zobrazovací prvek soustředit maximum informace. Zobrazení hodnot na displeji má nejmenší prioritu ze všech funkcí použitych v programu. Displej zobrazuje tyto informace:

- výsledek self-testu po připojení napájení (test správně připojené sondy, test rozšiřující karty, test záložní baterie uvnitř modulu)
- stav napájecího akumulátoru (graficky, popř. varování v případě blížícího se vybití)
- zobrazení naměřených hodnot CFM (formát XXXX,X)
- listování v naměřených hodnotách (index hodnoty, naměřená hodnota)
- zobrazení jemné kalibrace (X,XXXX)
- informace o potvrzení uložení naměřených hodnot, o vymazání naměřených hodnot, o vysílání naměřených hodnot po sériové lince
- zobrazení informace o průběhu měření (start, stop)
- další informace

Kapitola 7

Zpracování naměřených hodnot

V této kapitole jsou stručně popsány způsoby vyhodnocování naměřených hodnot. Jedná se především o vyhodnocování dat z průtokoměru, která se používají pro výpočet propustnosti síta. Dále je zde rozebíráno algoritmus pro výpočet klouzavého průměru, který je užit při detekci ustálenosti systému nebo pro zjištění aktuálního napětí akumulátoru.

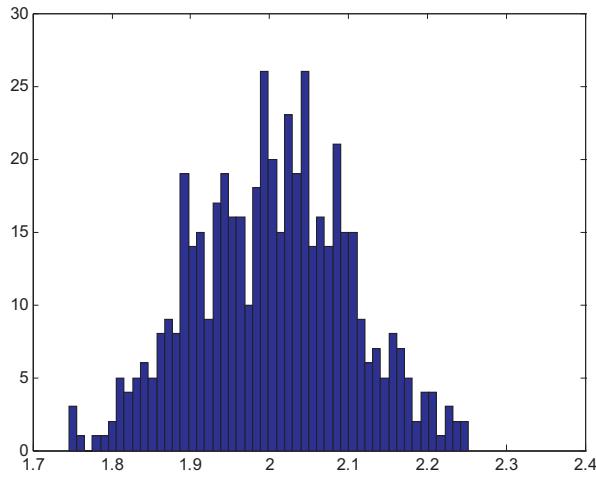
7.1 Vyhodnocení naměřených dat a výpočet CFM

Na vstupu tohoto algoritmu je 500 hodnot odečtených ze senzoru průtokoměru s periodou odečtu 10 ms. Jedná se o hodnoty, které byly naměřeny při ustálení systému, tudíž je zapotřebí z těchto hodnot vybrat nebo odhadnout nejlepší. Výsledkem algoritmu by tedy měla být jedna jediná hodnota, která bude přepončtena na jednotku CFM, zobrazena uživateli a uložena do paměti.

7.1.1 Odhad střední hodnoty v normálním rozdělení

Původně se předpokládalo, že naměřené hodnoty jsou zatíženy šumem, který má normální rozdělení. Nebyl by tedy problém provést odhad parametrů normálního rozdělení - *střední hodnota a rozptyl*. Tento předpoklad byl potvrzen i histogramem pořízeným z prvních měření. Nejlepším odhadem střední hodnoty takového rozdělení je aritmetický průměr.

Další pokusy však prokázaly, že šum nemá normální rozdělení, resp. občasné se projevující silná chyba měření negativně ovlivní ostatní prvky aritmetického průměru, blíže viz. obr. 7.1.



Obrázek 7.1: Histogram vzorku naměřených dat

7.1.2 Určení naměřené hodnoty minimalizací formy

Určení „nejlepší“ hodnoty ze série naměřených provedeme na základě minimalizace *Hölderovy normy* [2] podle vztahu

$$\min \|Ax - b\|_p, \quad (7.1)$$

kde A je pro skalární veličinu sloupcová matice jedniček, x je „nejlepší“ naměřená hodnota, b je sloupcový vektor souboru všech naměřených dat a p je zvolená norma. Pro minimalizaci podle zvolené normy je nutné seřadit data do neklesající nebo nerostoucí posloupnosti (záleží na volbě, volíme nerostoucí posloupnost). Setřídění je řešeno použitím algoritmu pro rychlé třídění *Quick-Sort* [8]. Pro vektor pozorování tedy platí:

$$b_1 \geq b_2 \geq \dots b_n$$

Pro různé p normy platí následující vztahy:

- Pro jednotkovou normu $\alpha_p = \alpha_1$ hledáme

$$\min \|Ax - b\|_p \quad (7.2)$$

kde výsledek minimalizace je

$$x^* = \frac{b_{n+1}}{2} \quad (7.3)$$

pro n liché a

$$x^* = \frac{b_n}{2} \quad (7.4)$$

pro n sudé. Výsledkem minimalizace je *medián*, neboli prostřední prvek ze setříděné posloupnosti. Odhad nejlepší hodnoty podle tohoto kritéria je necitlivý k extrémním hodnotám pozorování (velkým chybám), neboť se do výsledku promítá pouze „prostřední“ prvek v posloupnosti (resp. jeho hodnota).

- Pro kvadratickou normu

$$\alpha_p = \alpha_2 \quad (7.5)$$

hledáme minimum

$$\min \|Ax - b\|_2, \quad (7.6)$$

kde výsledek minimalizace je

$$x^* = (A^T A)^{-1} A^T b = \left(\begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{bmatrix} = \frac{1}{n} \sum b_i \quad (7.7)$$

Při pohledu na výsledek je evidentní, že se jedná o aritmetický průměr, který byl zavržen v předchozím odstavci z důvodu velké citlivosti na chybu.

- Pro nekonečnou normu platí následující vztah.

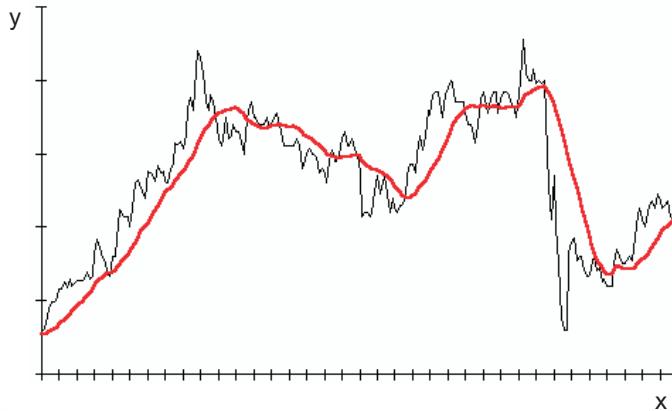
$$\min \left\| \begin{bmatrix} x - b_1 \\ \dots \\ x - b_n \end{bmatrix} \right\|_\infty = \frac{b_1 + b_n}{2} = x^*$$

Odhadnutá hodnota je rovna střednímu rozsahu, je tedy založena na extrémních hodnotách, které jsou zatíženy největší chybou. Tato norma se v řízení často používá, je totiž robustní i k největším chybám, což zajišťuje její maximální konzervativnost.

Praktické zkoušky ukázaly, že nejlepších hodnot bylo dosaženo při použití minimalizace podle jednotkové normy. Tento přístup ke zjištění nejlepší naměřené hodnoty byl tedy implementován v řídicím programu.

7.2 Pohyblivý průměr

Pohyblivý (klouzavý) průměr je velmi jednoduchým nástrojem pro analýzu trendu naměřených dat. Řídicí jednotka bude pomocí tohoto algoritmu vyhodnocovat napětí akumulátoru a kontrolovat ustálenost měřicí sondy během měření. I přesto, že jeho výpočet není náročný na čas,



Obrázek 7.2: Pohyblivý (klouzavý) průměr

je zapotřebí výpočet pohyblivého průměru co nejvíce optimalizovat kvůli minimalizaci časové náročnosti. Existuje celá řada modifikací tohoto algoritmu (jednoduchý, s exponenciálním zapomínáním, ...). V této aplikaci je použit jednoduchý pohyblivý průměr.

Vstupními parametry algoritmu pro výpočet pohyblivého průměru jsou naměřená data a velikost paměťového bloku s , který stanovuje hloubku uvažované historie. Algoritmus pohyblivého průměru pak pracuje tak, že bere posledních s dat a z nich vypočte aritmetický průměr. Velikost historie (paměťového bloku) přímo ovlivňuje míru vyhlazení původních dat. Při nastavení velkého paměťového bloku je výstup více vyhlazen a naopak. Při výpočtu použijeme následující vztahy:

$$A_d = \frac{\sum_{i=1}^s M_{(d-i)+1}}{s}, \quad (7.8)$$

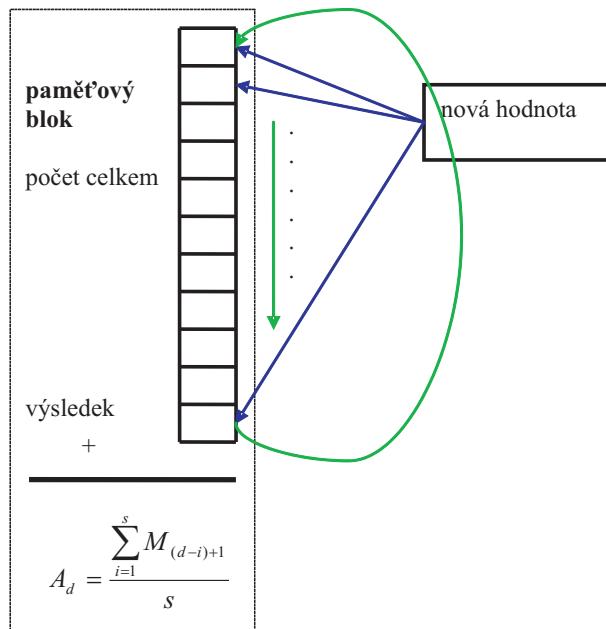
$$s \leq d, \quad (7.9)$$

$$A_4 = \frac{(M_4 + M_3 + M_2 + M_1)}{4}, \quad (7.10)$$

kde s je počet vzorků uchovaných v historii a d je celkem dat.

7.2.1 Výpočet pohyblivého průměru

Při inicializaci se nejprve vytvoří statické pole o velikosti paměťového bloku s , které bude určeno k „pamatování“ si posledních s hodnot. V okamžiku přidání první naměřené hodnoty se inkrementuje čítač počtu hodnot celkem a nová hodnota se zapíše na první místo v tabulce.



Obrázek 7.3: Výpočet pohyblivého (klouzavého) průměru

Další hodnoty se postupně přidávají na další místa. Pokud by při přidávání hodnot do tabulky došlo k přetečení rozsahu, zapisuje se hodnoty znova od začátku tabulky. Tím je zajištěno to, že v tabulce se nachází posledních s naměřených dat.

V případě dotazu na hodnotu pohyblivého průměru z posledních s dat se nejprve testuje zda platí podmínka (7.9). V kladném případě se z dat v tabulce vypočte aritmetický průměr.

7.2.2 Zhodnocení implementovaného algoritmu

Algoritmus by měl zajistit podle teoretických předpokladů dostatečné vyhlazení vstupního průběhu. Stupeň vyhlazení se volí pomocí délky paměťového bloku. Pro případ vyhlazení měření napětí akumulátoru je paměťový blok velký 30 vzorků (odměřuje se každou sekundu). Vzniká tak dostatečně velký prostor pro potlačení vlivu výrazného poklesu svorkového napětí při spuštění podtlakového ventilátoru. Paměťový blok pro zjišťování ustálení sondy je dlouhý 50 vzorků (odměr každých 10 ms) a vzhledem k časové konstantě systému poskytuje dostatečný kompromis mezi mírou vyhlazení a rychlosťí odezvy. Implementovaný algoritmus má konstantní časovou složitost jak pro výpočet pohyblivého průměru (výstup) tak pro vložení nové naměřené veličiny (vstup). V obou výše zmíněných případech vrací tento algoritmus dobré hodnoty.

Kapitola 8

Komunikační protokol

Pro komunikaci mezi osobním počítačem a programovatelným modulem byl vytvořen zvláštní komunikační protokol pro výměnu dat a správu měřicího zařízení. Za zvážení stalo použití některého již existujícího otevřeného komunikačního protokolu - například protokolu M-BUS. Tato varianta byla zavržena především z důvodu nestandardní komunikace měřicího zařízení a osobního počítače ve smyslu velkého množství nárazově přenášených dat. Vytvořený formát komunikačního protokolu řídicího modulu s osobním počítačem realizovaný sériovou linkou RS-232 [10] je popsán v následující kapitole.

8.1 Parametry sériové komunikace

Řídicí jednotka komunikuje s osobním počítačem rychlosťí 115200 bps. Datové výměny se účastní vždy právě dvě zařízení, komunikace je tedy typu *master - slave*, resp. *point to point*. Datové slovo má 8 bitů, parita je sudá a vkládá se jeden stop-bit. Komunikace mezi modulem a počítačem je realizována pomocí kříženého sériového kabelu (null-modem) s třemi vodiči. Proto se nepoužívá žádné řízení toku dat podporované hardwarem. Veškerá organizace a správa komunikační linky je realizována na vyšší úrovni pomocí software. Vzhledem k předpokládanému stahování dat z modulu v kancelářském prostředí nečiní zvolená rychlosť komunikace žádné potíže, naopak přináší zkrácení doby potřebné k přenosu dat. Data jsou navíc chráněna kontrolním součtem, který zajišťuje další bezpečnost přenosu. Při praktických testech komunikace nebyl zaznamenán případ, kdy by nesouhlásil kontrolní součet.

Tabulka 8.1: Schéma zprávy od PC

INIT 1B	DÉLKA 1B	DÉLKA 1B	ZPRÁVA	CHECKSUM 1B
---------	----------	----------	--------	-------------

Tabulka 8.2: Platné znaky ve zprávě od PC

INIT	0x10
DÉLKA	0x00 - 0xFF
DÉLKA	0x00 - 0xFF
ZPRÁVA	tělo zprávy
CHECKSUM	0x00 - 0xFF

8.2 Popis rámce

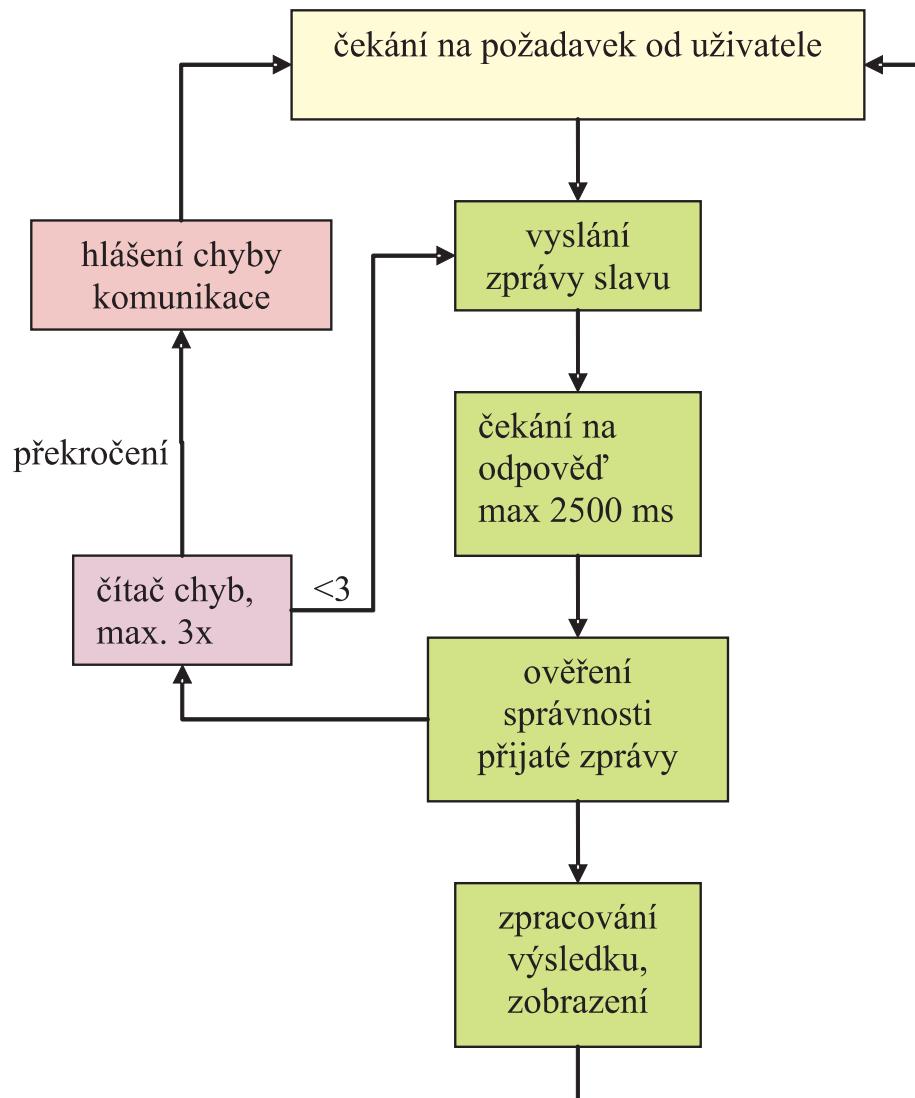
Každý rámec vyslaný z osobního počítače nebo z řídicího modulu je sestaven podle popsáного formátu (tabulka 8.1, tabulka 8.3). Maximální délka zprávy je 255 bytů (maximální délka rámce je 261 bytů). Zprávy s maximální délkou se prakticky nevyskytují. Datové zprávy se přenášejí obvykle v textovém formátu, řídicí zprávy se přenášejí pomocí speciálních znaků. Kontrolní součet *CHECKSUM* se počítá jako součet všech prvků rámce od prvního do předposledního prvku (poslední je *CHECKSUM*).

8.3 Popis komunikace osobního počítače

Osobní počítač hraje při komunikaci roli nadřazené stanice (master). Provádí tedy inicializaci komunikace a dotazuje se modulu na požadované informace. Komunikaci masteru je možné zjednodušeně popsat pomocí stavového diagramu podle obr. 8.1. Uspořádání odesílané zprávy naznačuje tabulka 8.1 a tabulka 8.4. Odesílaná zpráva se skládá z inicializační sekvence, dvou znaků, které exkluzivně určují délku celé zprávy, kódů požadované akce a kontrolního součtu. Možné kódy akcí uvádí tabulka 8.3. Ty zajišťují vyvolání všech možných funkcí. Několik příkazů je předem rezervováno na případné rozšíření funkcí. Rámec tedy zabírá 4 + DÉLKA bytů (1 + 1 + 1 + DÉLKA + 1 bytů).

8.4 Popis komunikace modulu

Programovatelný modul ICP CON hraje při komunikaci roli podřazené stanice (slave). Čeká na požadavek od osobního počítače, na který okamžitě odpoví nebo provede zadanou akci. Drobný

Obrázek 8.1: Blokové schéma stav. diagramu komunikace *master*

Tabulka 8.3: Data směrovaná od modulu k počítači

0x70	test připojeného modulu
0x71	ukonči řídicí program a přejdi do terminálového režimu
0x6D	odešli diagnostická data (jako textový řetězec)
0x6C	odešli naměřená data z flash paměti (jako textové řetězce)
0x73	ulož naměřené hodnoty do paměti flash
0x65	vymaž flash paměť s naměřenými hodnotami
0x77	odešli nastavené hodnoty A, B, C, D
0x76	odešli nastavenou jemnou kalibraci
0x78	nastav koeficienty A, B, C, D - následují 4 číselné hodnoty ve formátu string (celkem 12 míst na číslo, z toho 5 desetinných pro každou hodnotu, oddělovač je středník)
0x74	výzva k odeslání aktuálního datumu a času řídicí jednotky
0x63	příkaz k nastavení času v řídicí jednotce z nadřazeného systému, následuje 6 čísel ve formátu string ve tvaru HH MM SS RRRR MM DD
0x40	vrať informaci o volné paměti
0x41	diagnostický příkaz 1
0x42	diagnostický příkaz 2
0x43	diagnostický příkaz 3
0x44	diagnostický příkaz 4
0x45	diagnostický příkaz 5
0x46	diagnostický příkaz 6
0x47	diagnostický příkaz 7
0x48	diagnostický příkaz 8
0x49	diagnostický příkaz 9

Tabulka 8.4: Schéma zprávy odesílané modulem

INIT 1B	DÉLKA 1B	DÉLKA 1B	ZPRÁVA	MULTI 1B	CHECKSUM 1B
---------	----------	----------	--------	----------	-------------

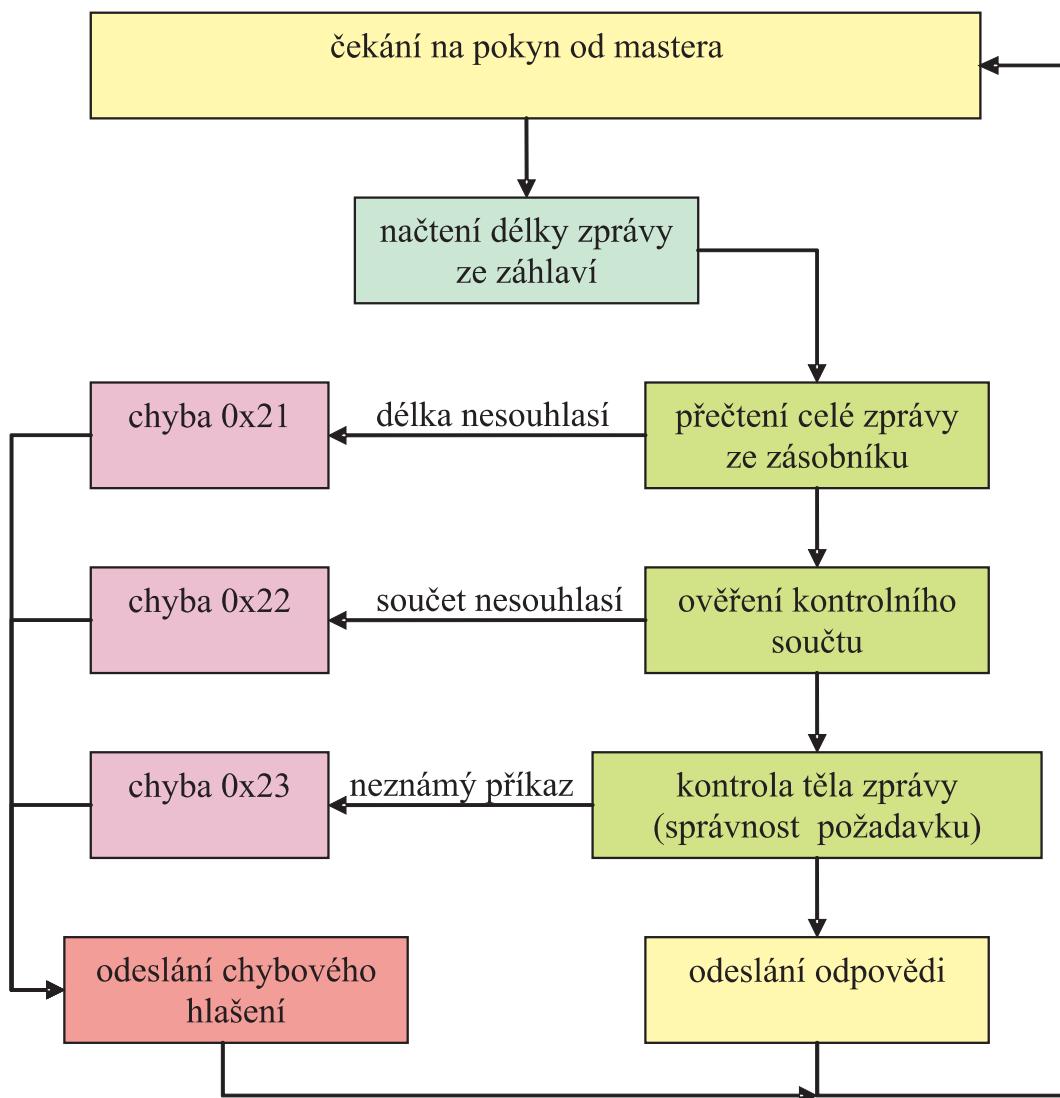
Tabulka 8.5: Schéma odchozí zprávy

0x70	modul připojen
0x20	příjem potvrzen
0x21	délka zprávy nesouhlasí, opakuj vysílání
0x22	chyba při testu kontrolního součtu, opakuj vysílání
0x23	chybný požadavek
0x50	odpověď na vyžádaný dotaz - následuje textový řetězec obsahující odpověď nebo její část. V případě odpovědi vyžadující více částí (odesílání naměřených dat) se vysílání tohoto paketu opakuje podle potřeby. Indikace zprávy, která obsahuje následníka, je provedena nastavením bytu MULTI na hodnotu 0xFF.

problém přináší odesílání naměřených hodnot, kterých mohou být tisíce. Odesílání všech dat najednou v jedné zprávě není spolehlivé, a proto se data odesírají postupně. Každá odesílaná odpověď z modulu obsahuje zvláštní příznak, který masteru sděluje, zda má odesílaná zpráva následníka. Tak je možné odesílat velké množství naměřených hodnot bez omezení spolehlivosti.

Komunikace programovatelného modulu se dá zjednodušeně popsat pomocí schématu stavového diagramu podle obr. 8.2. Odesílaná zpráva je vytvořena podle schématu (viz tabulka 8.4) a složena opět z inicializačního znaku, dvakrát opakováné délky zprávy, samotné zprávy a kontrolního součtu. Fyzická podoba jednotlivých znaků je totožná jako u zprávy od osobního počítače (tabulka 8.2). Tělo zprávy je tvořeno podobně, drobnou odchylku představuje přidání sekce „MULTI“, která vytváří příznak další odesílané zprávy z podřazené stanice (viz tabulka 8.5).

Rámec tedy zabírá $5 + \text{DÉLKA}$ bytů ($1 + 1 + 1 + \text{DÉLKA} + 1 + 1$ bytů).



Obrázek 8.2: Blokové schéma stav. diagramu komunikace slave

Kapitola 9

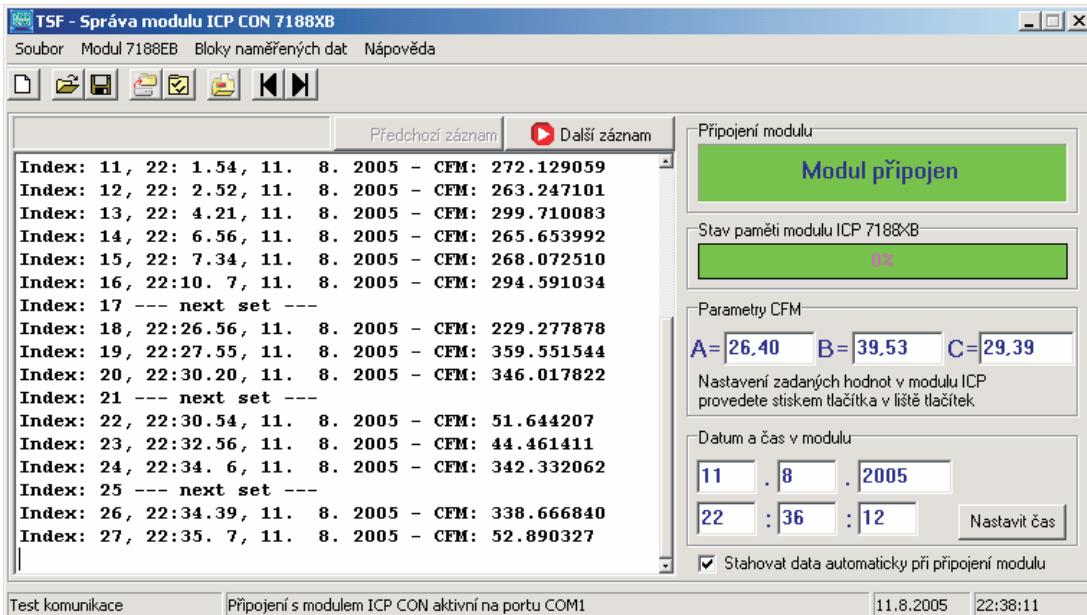
Uživatelský SW

Primárním úkolem uživatelského programu pro osobní počítač je možnost konverze dat z modulu do souboru s konkrétním formátem v PC. Uživatelské rozhraní programu je přizpůsobeno maximální jednoduchosti při ovládání programu. V základní verzi poskytuje uživateli pouze nejnutnější funkce, které však plně postačují pro správu modulu. Na obr. 9.1 je znázorněna hlavní obrazovka programu.

9.1 Připojení modulu

Pokud není navázána komunikace mezi programem na PC a řídicí jednotkou, program neustále prohledává všechny sériové porty počítače, na kterém běží. Každý volný port se pokusí otevřít, nastavit parametry sériové komunikace podle specifikace a vysláním inicializační sekvence zjistit připojený modul. Pokud obdrží odpověď ve správném formátu, považuje komunikaci za navázanou. Po navázání komunikace provede stažení základních informací z řídicí jednotky v následujícím pořadí:

- diagnostický příznak systému
- množství volné paměti
- aktuální datum a čas v modulu
- koeficienty A, B, C, D
- všechny naměřené hodnoty (pokud je povoleno)



Obrázek 9.1: Rozhraní uživatelského programu pro PC

9.2 Naměřená data

Na přání zadavatele práce jsou naměřená data v modulu uložena po jednotlivých blocích v pořadí, jak byla pořízena během měření. Po načtení dat z modulu do počítače má uživatel možnost vybrat si export jednoho konkrétního bloku nebo všech bloků. Tak je uživateli poskytována požadovaná volnost při práci s naměřenými daty. Na obrazovce programu jsou naměřená data zobrazena standardně v textovém formátu, který obsahuje index měření, datum a čas jednotlivých odměrů a naměřenou hodnotu propustnosti.

9.3 Přenos dat

Ve výchozím stavu je povoleno automatické stahování dat z modulu. Tato funkce umožní automatické stažení dat z modulu do počítače ihned po navázání komunikace. Z modulu se automaticky přečtou všechny bloky naměřených dat a uživatel je může procházet, ukládat a exportovat. Protože naměřených dat může být v modulu uloženo velmi mnoho a přenos by po každém připojení trval dlouhou dobu, je možné vypnout automatické stahování dat. Při vypnuté volbě automatického stahování se data stáhnou do počítače po zvolení příslušného příkazu v kontextovém menu nebo na liště tlačítek.

Tabulka 9.1: Formát textového souboru

číslo měření	čas	datum	hodnota CFM
index: 1,	22: 22.22,	22. 12. 2222 -	CFM: 222.222222
index: 2,	22: 22.22,	22. 12. 2222 -	CFM: 222.222222
index: 3,	22: 22.22,	22. 12. 2222 -	CFM: 222.222222
...
index: 22,	— next set —		oddělovač série

9.4 Uložení a export dat

9.4.1 Standardní formát souboru s daty

Naměřená data jsou standardně ukládána v textovém formátu, který je kompatibilní s formátem, který používá speciální software vytvořený na zakázku pro zadavatele práce. Schématické znázornění struktury výstupního textového souboru udává tabulka 9.1.

Tento formát je nastaven jako výchozí, neboť bude používán zadavatelem v drtivé většině případů pro export dat do speciální aplikace vyhodnocující naměřená data pro zákazníka.

9.4.2 XML

Data je možné exportovat do formátu XML [11] podle následujícího schématu:

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?> <namerena data>
  <info pocet_dat="222" />
  <data>
    <Index>1</Index>
    <Serie>1</Serie>
    <Cas>22:22.22</Cas>
    <Datum>22:12.2222</Datum>
    <CFM>222.222222</CFM>
    <Status>OK</Status>
  </data>
  <data>
    <Index>2</Index>
    <Serie>1</Serie>
    <Cas>22:22.22</Cas>
    <Datum>22:12.2222</Datum>
    <CFM>222.222222</CFM>
    <Status>OK</Status>
  </data>
```

```

<data>
    <Index>3</Index>
    <Serie>1</Serie>
    <Cas>22:22.22</Cas>
    <Datum>22:12.2222</Datum>
    <CFM>222.222222</CFM>
    <Status>OK</Status>
</data>
<data>
    <Index>22</Index>
    <Serie>2</Serie>
    <Cas>22:22.22</Cas>
    <Datum>22:12.2222</Datum>
    <CFM>222.222222</CFM>
    <Status>OK</Status>
</data>
</namerena data>

```

Dokument ve formátu XML je možné popsat pomocí pravidel pro strukturu dokumentu DTD (Document Type Definition). DTD obsahuje deklaraci čtyř typů:

- deklarace elementů
- deklarace atributů
- deklarace entit
- deklarace notací

Pro příklad je uvedena pouze deklarace elementů, která je pro formát popsání struktury XML dokumentu nezbytná:

```

<!ELEMENT info (pocet_dat)> <!ELEMENT data
(Index, Serie, Cas, Datum, CFM, Status)>

```

Funkce exportu naměřených dat do XML zatím nepřináší významné uplatnění, a proto bude pravděpodobně ve finální verzi zakázána z důvodu maximálního zjednodušení ovládání programu na přání zadavatele.

9.4.3 Export do schránky

Naměřená data je možné zkopirovat do schránky systému Windows. Data je pak možné vložit do většiny kancelářských programů a umožnit uživateli vytvořit například jednoduchou prezentaci zjištěných údajů.

Kapitola 10

Praktické ověření funkčnosti

Pro kontrolu přesnosti měření byly zadavatelem předloženy vzorky vyrobených sít (viz. tabulka 10.1). Většina vzorků byla dodána v počtu větším než jeden a byla náhodně vybrána z výroby. Zadavatel práce předal k dispozici šest vzorků sít ve vzorovém spektru rozsahu hodnot CFM z běžné výroby. Dále pak jedno referenční spektrum, které bylo vybráno jako nejvhodnější ke kalibraci měřicího zařízení. Zadavatel práce vyrábí síta ve dvou tolerancích přesnosti. Běžná hodnota přesnosti je 10 %, síta s hodnotou CFM 230 a 340 jsou vyráběna s větší přesností. Dále je třeba rozlišovat, zda hodnota CFM daného síta závisí na straně, ze které se měří. U všech sít s nižší až normální hodnotou CFM se rozlišuje rub a líc síta, u posledních dvou sít s nejvyšší hodnotou CFM se nerozlišuje, z které strany je prováděno měření propustnosti. Charakteristiku jednotlivých sérií sít udává tabulka 10.1.

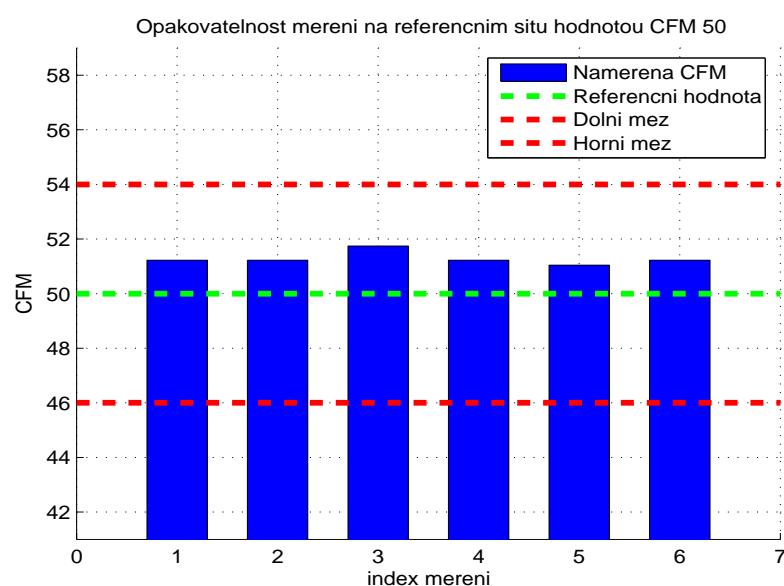
10.1 Kalibrace měřicí sondy

Výrobce sít předložil vzorové spektrum sít, které bylo vybráno z vyráběného produktu s maximální pečlivostí tak, aby byl měřicí přístroj správně nakalibrován a dosahoval maximálně správných výsledků. Toto spektrum sít je považováno při kalibraci měřicího systému za etalon. Kalibrace měřicího přístroje je prováděna tak, že se naměří série údajů z průtokoměru při ustálení měřicího přístroje. Naměřené hodnoty obsahuje tabulka 10.2. Zjištěná hodnota napětí ze senzoru průtoku je spolu s udávanou hodnotou vynesena do grafu pro celé spektrum sít. Vzniklé body jsou proloženy kalibrační křivkou (polynomická funkce), jejíž konstanty jsou pak použity k nastavení řídící jednotky. Jako nejvhodnější se ukázala být kalibrace podle vztahu (10.1), tedy aproximační polynom je čtvrtého řádu.

$$CFM(u) = -57,722u^4 + 387,43u^3 - 865,87u^2 + 1028,6u - 268,88 \quad (10.1)$$

Tabulka 10.1: Vzorová síta, která byla k dispozici pro měření

CFM	deklarovaná přesnost výroby	požadovaná přesnost měření	barva	počet vrstev síta	rozlišení rub/líc
50	10 %	10 %	zelená	1	ano
115	10 %	10 %	zelená	1	ano
130	10 %	10 %	modrá	1	ano
160	10 %	10 %	červená	1	ano
200	10 %	10 %	zelená	1	ano
230	5 %	8 %	červená	2	ano
340	5 %	8 %	bílá	2	ano
360	10 %	10 %	zelená	1	ano
390	10 %	10 %	bílá	1	ano
400	10 %	10 %	modrá	2	ano
500	10 %	10 %	červená	2	ano
530	10 %	10 %	bílá	2	ano
600	10 %	10 %	modrá	2	ne
800	10 %	10 %	zelená	2	ne



Obrázek 10.1: Měření opakovatelnosti na sítu CFM 50

Tabulka 10.2: Měření na referenčním sítu

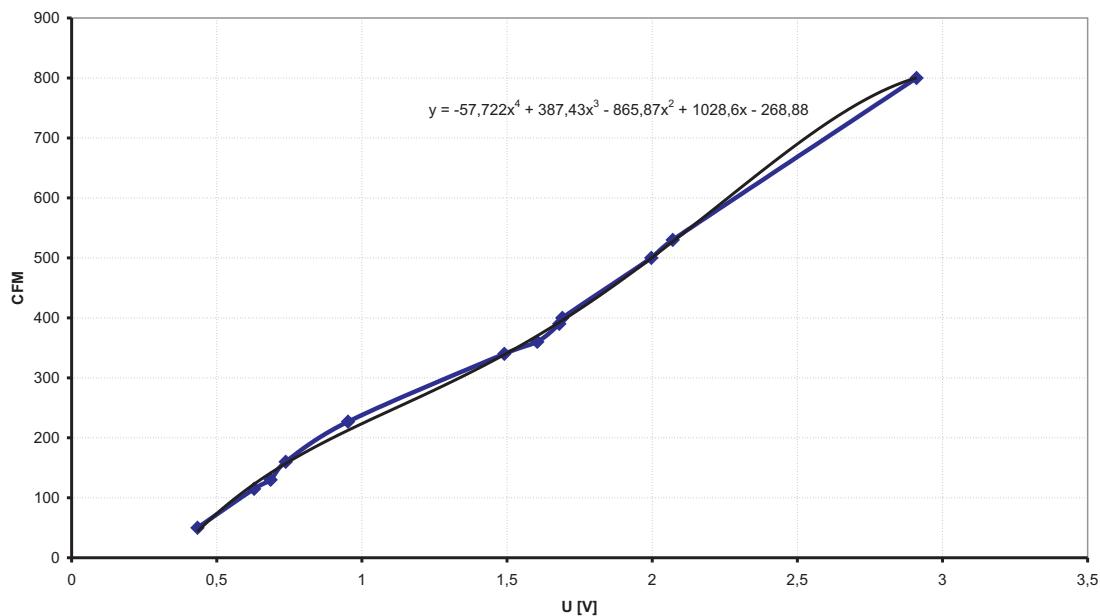
CFM	měřené napětí sondy [V]	průtok [m/s]
50	0,43354	0,14
115	0,628639	0,34
130	0,68544	0,37
160	0,737302	0,38
230	0,917583	0,5
340	1,4905	0,728
360	1,6041	0,8
390	1,73255	0,83
400	1,69057	0,82
500	1,9968	0,905
530	2,070891	0,98
800	2,9105	1,313

10.2 Ověření měřením

Zadavatel práce předložil 6 různých spekter vzorků vyráběných sít k ověření funkčnosti měřicího přístroje. Naměřené hodnoty byly vyneseny do grafů včetně povolených tolerancí pro danou hodnotu dle přesnosti výroby. Relativní chybu měření na sérii sít ukazuje tabulka 10.3 a tabulka 10.4. Absolutní chybu měření potom tabulka 10.5 a tabulka 10.6.

10.3 Opakovatelnost měření

Z důvodu ověření přesnosti bylo na referenčním sítu provedeno měření opakovatelnosti. Měřicí sonda je při takovémto měření ponechána ve stejné poloze na měřeném sítu a provádí se série několika měření. Vzhledem k tomu, že nedochází k přemíšťování měřicí sondy po sítu neprojevuje se při takovém měření chyba vzniklá nehomogenitou propustnosti daného síta v závislosti na poloze měřicí sondy. Takovéto měření bylo provedeno na referenčním sítu o propustnosti 50 CFM a na sítu o propustnosti 230 CFM (s vyšší přesností výroby). Získané výsledky jsou zobrazeny na obr. 10.1 a obr. 10.3.



Obrázek 10.2: Kalibrační křivka

Tabulka 10.3: Relativní chyba měření na sérii sít

CFM referenční	1. síto [%]	2. síto [%]	3. síto [%]	4. síto [%]	5. síto [%]	6. síto [%]
50	2,4400	5,7254	6,9767	3,9461	4,0578	4,5181
115	1,4131	4,5542	1,5479	5,3621	5,7938	1,4244
160	14,7680	3,0085	6,2116	1,6559	3,6424	0,4230
230	2,9724	1,7988	0,4957	0,2381	5,5232	3,7059
340	1,7692	1,1386	1,8847	0,9239	2,9949	0,9270
360	5,0542	2,0925	4,3586	0,2899	1,1373	3,8959
390	1,0217	4,7814	7,1562	8,6609	5,0088	3,9617
400	2,6088	3,9232	0,2118	0,4910	3,2509	0,4394
500	3,2273	5,6847	0,2736	1,4278	2,3059	3,7347
530	6,1386	7,1505	5,1082	0,3429	2,0763	3,3711
800	3,9044	5,7296	4,3289	4,8768	8,8641	1,6049

Tabulka 10.4: Relativní chyba měření

CFM referenční	max. chyba relativní [%]	průměrná chyba relativní [%]
50	6,9767	4,6107
115	5,7938	3,3492
160	14,7680	4,9516
230	5,5232	2,4557
340	2,9949	1,6064
360	5,0542	2,8047
390	8,6609	5,0985
400	3,9232	1,8209
500	5,6847	2,7757
530	7,1505	4,0313
800	8,8641	4,8848

Tabulka 10.5: Absolutní chyba měření na sérii sít

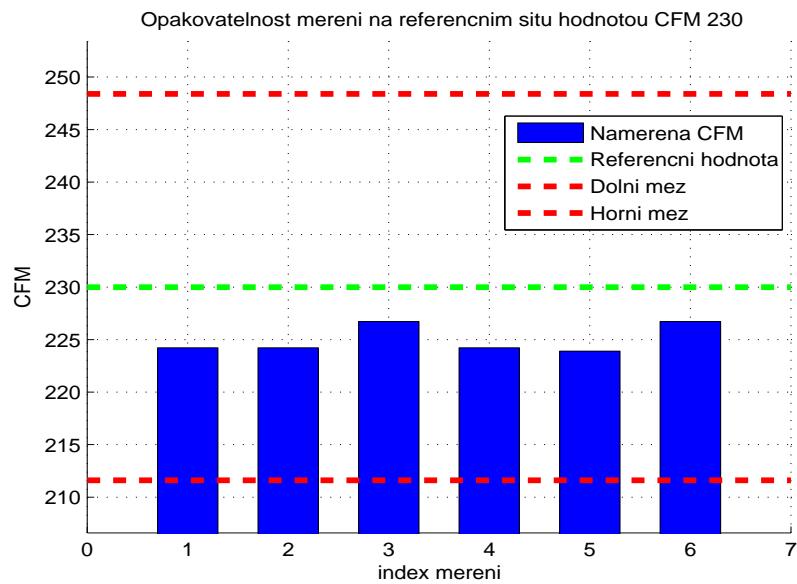
CFM referenční	1. síto [CFM]	2. síto [CFM]	3. síto [CFM]	4. síto [CFM]	5. síto [CFM]	6. síto [CFM]
50	1,2200	2,8627	3,4883	1,9730	2,0289	2,2590
115	1,6251	5,2374	1,7800	6,1664	6,6629	1,6381
160	23,6288	4,8135	9,9386	2,6494	5,8279	0,6768
230	6,8365	4,1372	1,1401	0,5476	12,7033	8,5236
340	6,0152	3,8713	6,4081	3,1414	10,1828	3,1517
360	18,1951	7,5329	15,6908	1,0435	4,0943	14,0252
390	4,0868	19,1255	28,6250	34,6434	20,0352	15,8470
400	13,0442	19,6161	1,0590	2,4552	16,2547	2,1969
500	17,1049	30,1291	1,4503	7,5671	12,2210	19,7937
530	36,8315	42,9027	30,6492	2,0575	12,4580	20,2266
800	31,2352	45,8372	34,6313	39,0147	70,9128	12,8391

Tabulka 10.6: Absolutní chyba měření

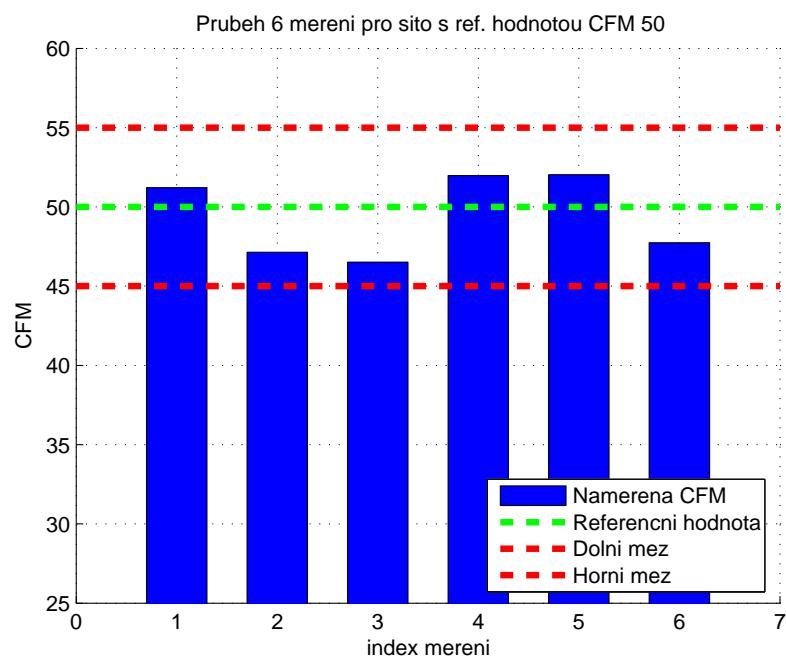
CFM referenční	max. chyba absolutní [CFM]	průměrná chyba absolutní [CFM]
50	3,4883	2,3053
115	6,6629	3,8516
160	23,6288	7,9225
230	12,7033	5,6480
340	10,1828	5,4617
360	18,1951	10,0970
390	34,6434	20,3938
400	19,6161	9,1043
500	30,1291	14,7110
530	42,9027	24,1876
800	70,9128	39,0784

10.4 Zhodnocení naměřených hodnot

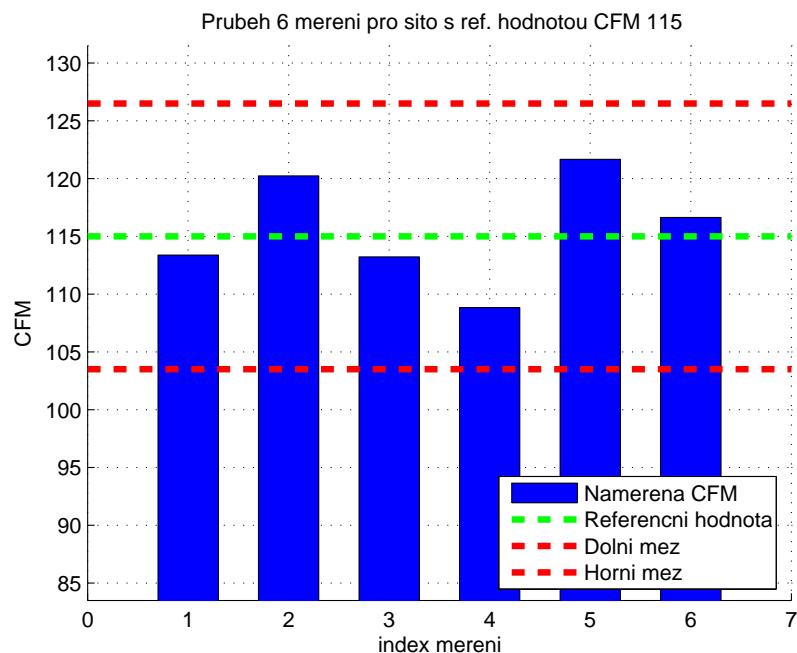
Naměřené hodnoty spadají až na jednu výjimku do stanoveného tolerančního pásmo. Tento výsledek je nejen zadavatelem práce hodnocen velmi kladně. Při jeho hodnocení je zapotřebí brát v potaz, že nepřesnosti v naměřených hodnotách připadají nejen chybě měření, ale především nepřesnostem při výrobě sít a tedy nepřesné hodnotě propustnosti síta samotné. Je třeba rovněž podotknout, že na přání zadavatele je měřicí přístroj seřízen tak, aby měřil co možná nejpřesněji síta s nízkou hodnotou propustnosti (přibližně 20 - 400 CFM). Ta odpovídají typickému použití měřicího přístroje. Větší hodnoty CFM se při měření tímto přístrojem příliš nevyskytují. Aproximace kalibrační křivky je tedy nastavena tak, aby splňovala tento požadavek. Dalším neméně důležitým parametrem při sledování přesnosti měřicího přístroje je opakovatelnost měření, která vychází jako velmi dobrá, a jejíž výsledky potvrzují dobrou přesnost měření přístroje.



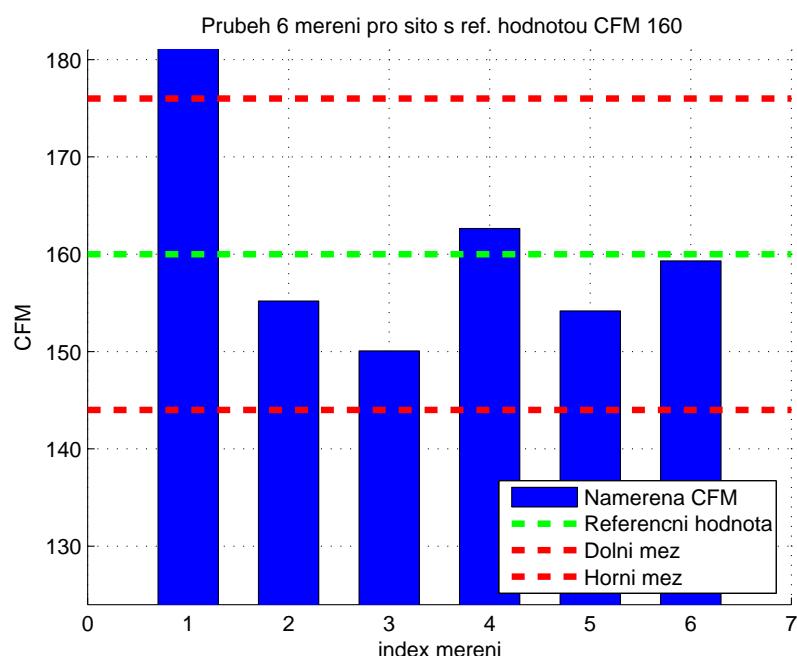
Obrázek 10.3: Měření opakovatelnosti na sítu CFM 230



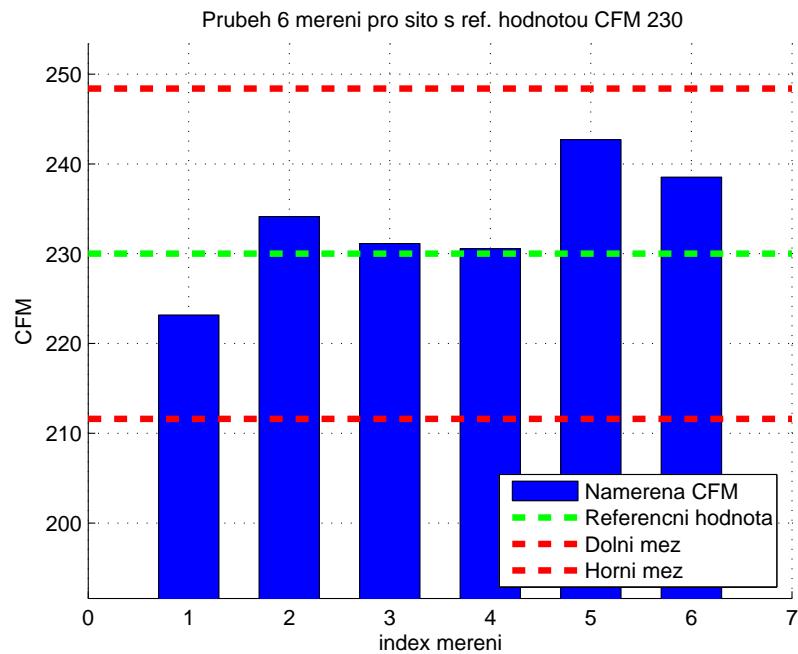
Obrázek 10.4: Praktické měření na sítu CFM 50



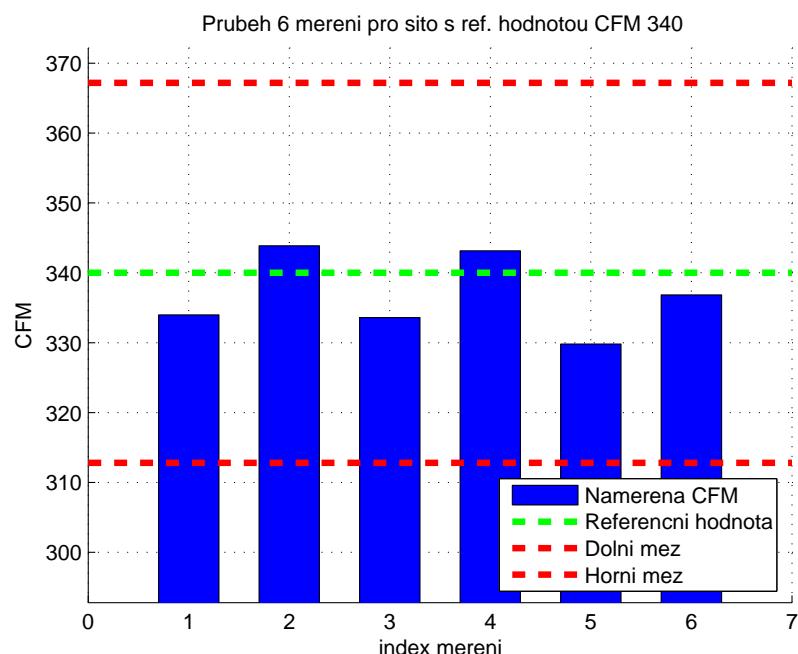
Obrázek 10.5: Praktické měření na sítu CFM 115



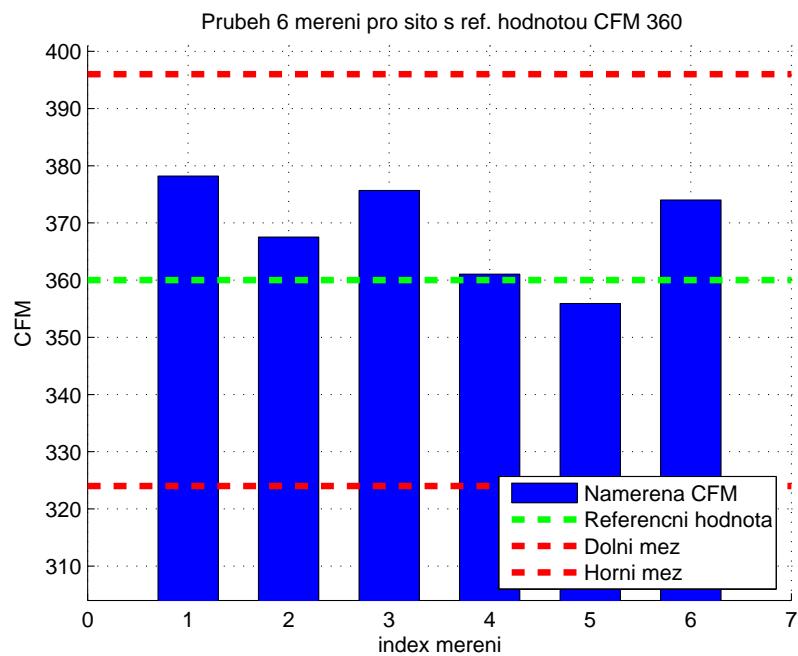
Obrázek 10.6: Praktické měření na sítu CFM 160



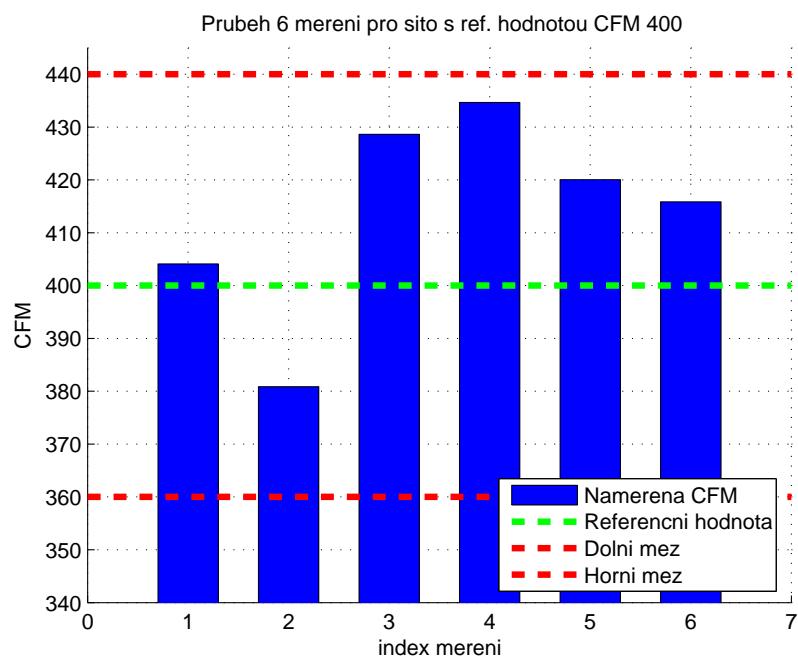
Obrázek 10.7: Praktické měření na sítu CFM 230



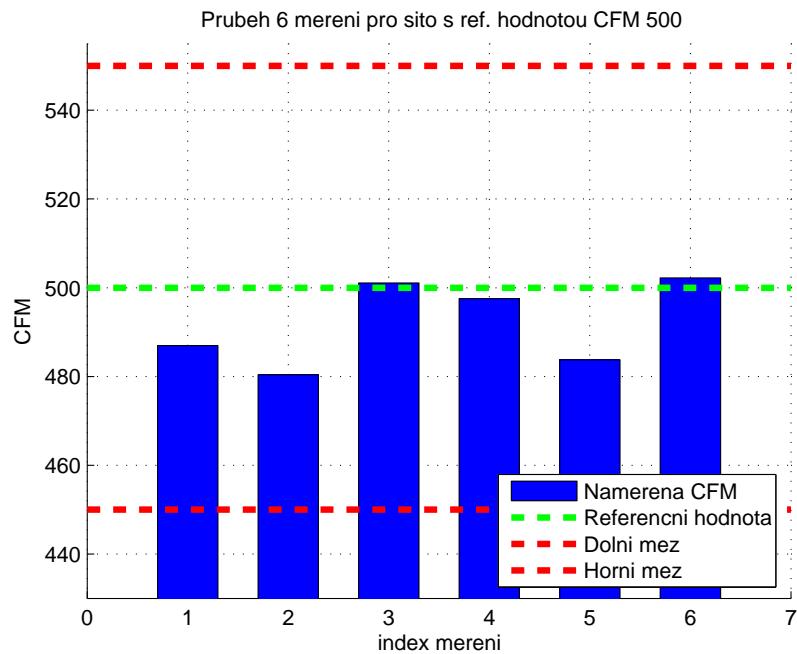
Obrázek 10.8: Praktické měření na sítu CFM 340



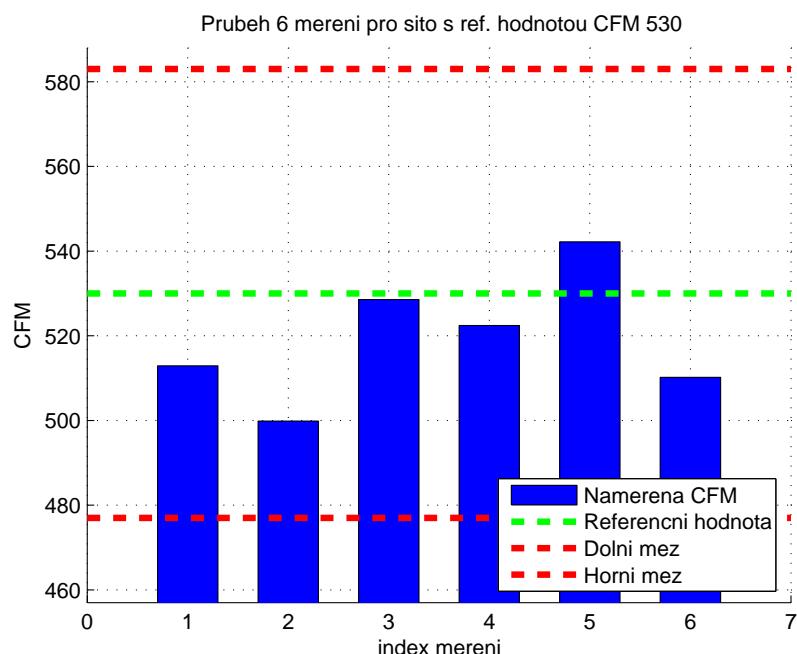
Obrázek 10.9: Praktické měření na sítu CFM 360



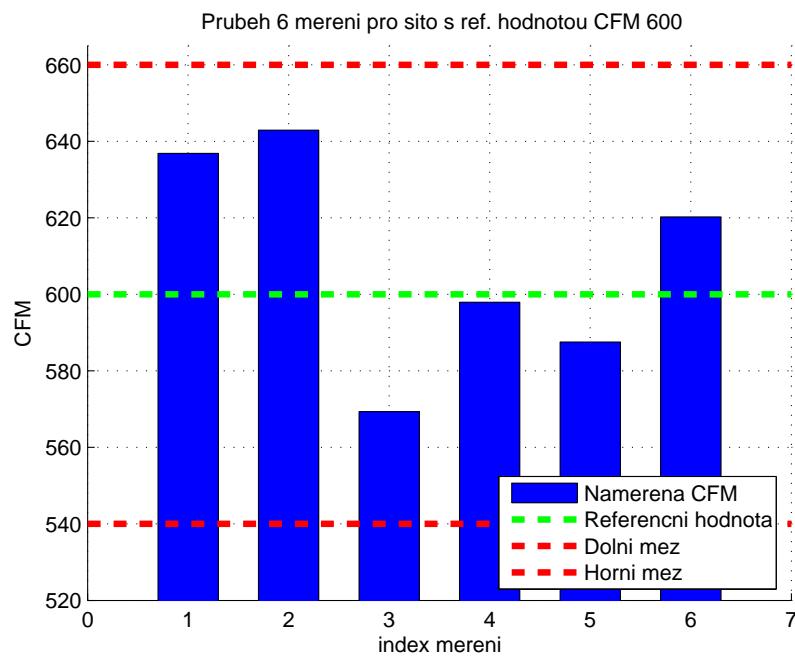
Obrázek 10.10: Praktické měření na sítu CFM 400



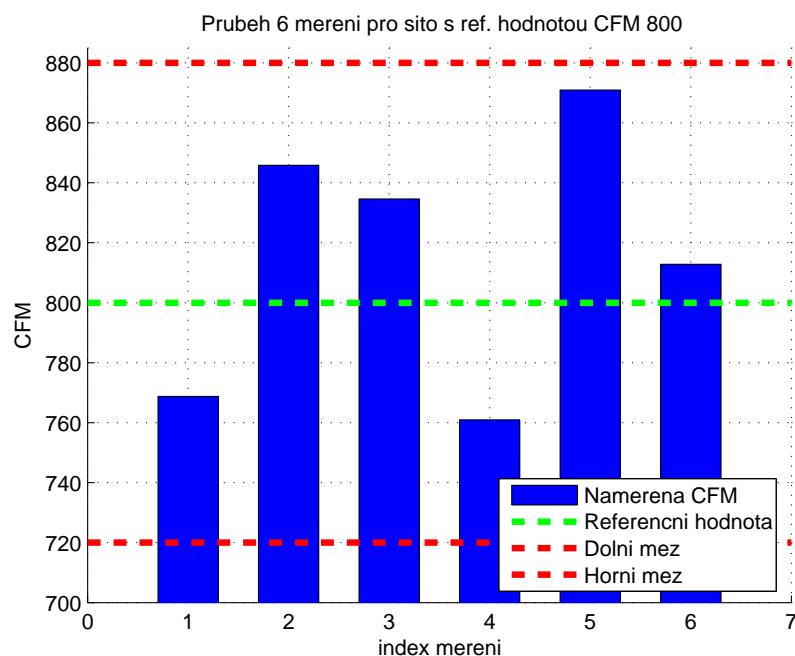
Obrázek 10.11: Praktické měření na sítu CFM 500



Obrázek 10.12: Praktické měření na sítu CFM 530



Obrázek 10.13: Praktické měření na sítu CFM 600



Obrázek 10.14: Praktické měření na sítu CFM 800

Kapitola 11

Závěr

I přes potíže, které doprovázely zprovozňování měřicího přístroje, se nakonec podařilo dosáhnout stanovených požadavků a snad i překonat předem stanovené cíle. Problémy při oživování měřicího systému přinášela především měřicí sonda, resp. její vrtulkový průtokoměr. Vhodným nastavením konstant regulátoru se podařilo tento problém odstranit. Do řídicího programu byla přidána funkce, která je schopna tento stav v případě jeho výskytu diagnostikovat, čímž je prakticky vyloučeno možné selhání měřicího zařízení.

Výsledkem práce je funkční měřicí přístroj s komunikačním rozhraním pro správu naměřených hodnot a měřicího zařízení. Dále pak software pro osobní počítač sloužící pro správu naměřených hodnot. Měřicí přístroj jako celek prošel sérií zkušebních měření v laboratorních i provozních podmínkách, následovaných zkušebním provozem, během kterého byl s jeho funkcemi obeznámen obsluhující personál a došlo k doladění nastavení zařízení. Po dokonalejším odzkoušení byl převzat do běžného provozu, ve kterém pracuje od června 2006. Výsledky přesnosti měření, kterých přístroj dosahuje, s rezervou splňují stanovené meze a jsou srovnatelné s referenčním statickým měřicím přístrojem, což je vzhledem k mobilitě zařízení hodnoceno velmi pozitivně. Neméně důležité jsou i výsledky opakovatelnosti měření, které jsou rádově lepší než bylo původně požadováno. Vytvořené měřicí zařízení vyhovuje všem parametrym stanovených zadavatelem práce.

Tyto výsledky, spolu s modernizovaným způsobem ovládání zařízení, zdokonaleným způsobem měření, zpracováním a jednoduchým sdílením naměřených dat mezi měřicím systémem a osobním počítačem, přiměly zadavatele práce k rozšíření původního zadání o konstrukci zcela nového měřicího zařízení (prototypu), které bude vytvořeno s úplnou nezávislostí na původním systému. V případě podobné funkční úspěšnosti prototypu jako renovovaného systému by mohla následovat kusová výroba měřicích systémů, které by vhodným způsobem zaplnily volné místo na trhu s podobnými zařízeními. V současné době eviduje zadavatel práce přibližně desítku poptávek po podobném měřicím systému ze strany výrobců papíru a spotřebitelů vyráběných sít. Část plánů prototypu nového měřicího přístroje je obsažena v příloze této práce.

Literatura

- [1] Havlena, V., Štecha, J. *Moderní teorie řízení*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. 297 stran. ISBN 80-01-02095-9.
- [2] Štecha, J. *Optimální rozhodování a řízení*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. 242 stran. ISBN 80-01-02083-5.
- [3] Horáček, P. *Systémy a modely*. 2. přeprac. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1999. 232 stran. ISBN 80-01-01923-3.
- [4] John, J. *Systémy a řízení*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 109 stran. ISBN 80-01-01474-6.
- [5] John, J., Horáček, P. *Identifikace a modelování*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1982. 119 stran.
- [6] Nožička, J. *Mechanika a termodynamika*. 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1991.
- [7] Jirků, S. a kol. *Mechanika a termodynamika - cvičení*. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1992.
- [8] Pecinovský, R., Virius, M. *Práce s daty 1*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, spol. s r.o., 1997.
- [9] Virius, M. *Programování v C++*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 2001. 364 stran. ISBN 80-01-01874-1.
- [10] Vacek, V. *Sériová komunikace ve Win32*. 2. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2003.
- [11] Vlček, T. *Metodiky programování - Úvod do XML* [online]. Poslední revize 2003 [cit. 2006]. URL: <<http://labe.felk.cvut.cz/ftp/vyuka/33MEP/MEP-10.pdf>>.
- [12] MathWorks. *System Identification Toolbox* [online]. Poslední revize 2005 [cit. 2006]. URL: <<http://www.mathworks.com>>.
- [13] Součástky pro elektrotechniku. Praha: GM electronic, 2006. 264 s.

- [14] *MC33036A Data Sheet*. Revision 18. Phoenix: ON Semiconductor, 2005. 13 s.
URL: <<http://onsemi.com>>.
- [15] *MA1458 Data Sheet*. Revision 1.0. CZ: TESLA, 1990. 1 s.
- [16] *TIP140 Data Sheet*. Revision A. Fairchild Semiconductor International, 2000. 4 s.
URL: <<http://www.fairchildsemi.com>>.
- [17] *7805 Data Sheet*. Revision 12. Santa Clara: National Semiconductor, 2000. 8 s.
URL: <<http://www.national.com>>.
- [18] *7815 Data Sheet*. Revision 10. Santa Clara: National Semiconductor, 2000. 6 s.
URL: <<http://www.national.com>>.
- [19] Hell, R. Měniče DC/DC s řídicím obvodem MC33063A. *Amaterské rádio - konstrukční elektronika*. 2003, vol. 8, no. 4, s. 14-17.

Příloha A

Schéma zapojení

A.1 Tabulka zapojení pinů řídicí jednotky

Tabulka A.1: Tabulka zapojení jednotlivých pinů

pin	označení	připojen k:
1	DO	nepřipojeno
2	DI	nepřipojeno
3	D1+COM1 RS485	nepřipojeno
4	D1- COM1 RS485	nepřipojeno
5	CTS1	nepřipojeno
6	RTS1	nepřipojeno
7	GND	sériový kabel - bílý
8	TXD1	sériový kabel - žlutý
9	RXD1	sériový kabel - červený
10	INT*	červené tlačítko - proti zemi
11	D2+ COM2 RS485	nepřipojeno
12	D2- COM2 RS485	nepřipojeno
13	Vcc	napájení, kladný pól
14	GND	napájení, záporný pól (0V, spojit s 25)
15	DO0	nepřipojeno
16	DO1	nepřipojeno
17	DO2	nepřipojeno
<i>(pokračování na další stránce)</i>		

(pokračování seznamu)		
pin	označení	připojen k:
18	DO3	kontrolka červená na sondě
19	PWR	napájení digitálního výstupu
20	DI0	přepínač Start/Stop na sondě
21	DI1	žluté tlačítko proti zemi
22	DI2	modré tlačítko 2 - proti zemi
23	DI3	modré tlačítko 1 - proti zemi
24	DA0	buzení ventilátoru
25	GND	spojit s 14
26	AD0	měření napětí baterie
27	AD1	vstup průtokoměru
28	AD2	vstup podtlakového senzoru
Konec seznamu		

A.2 Schéma zapojení

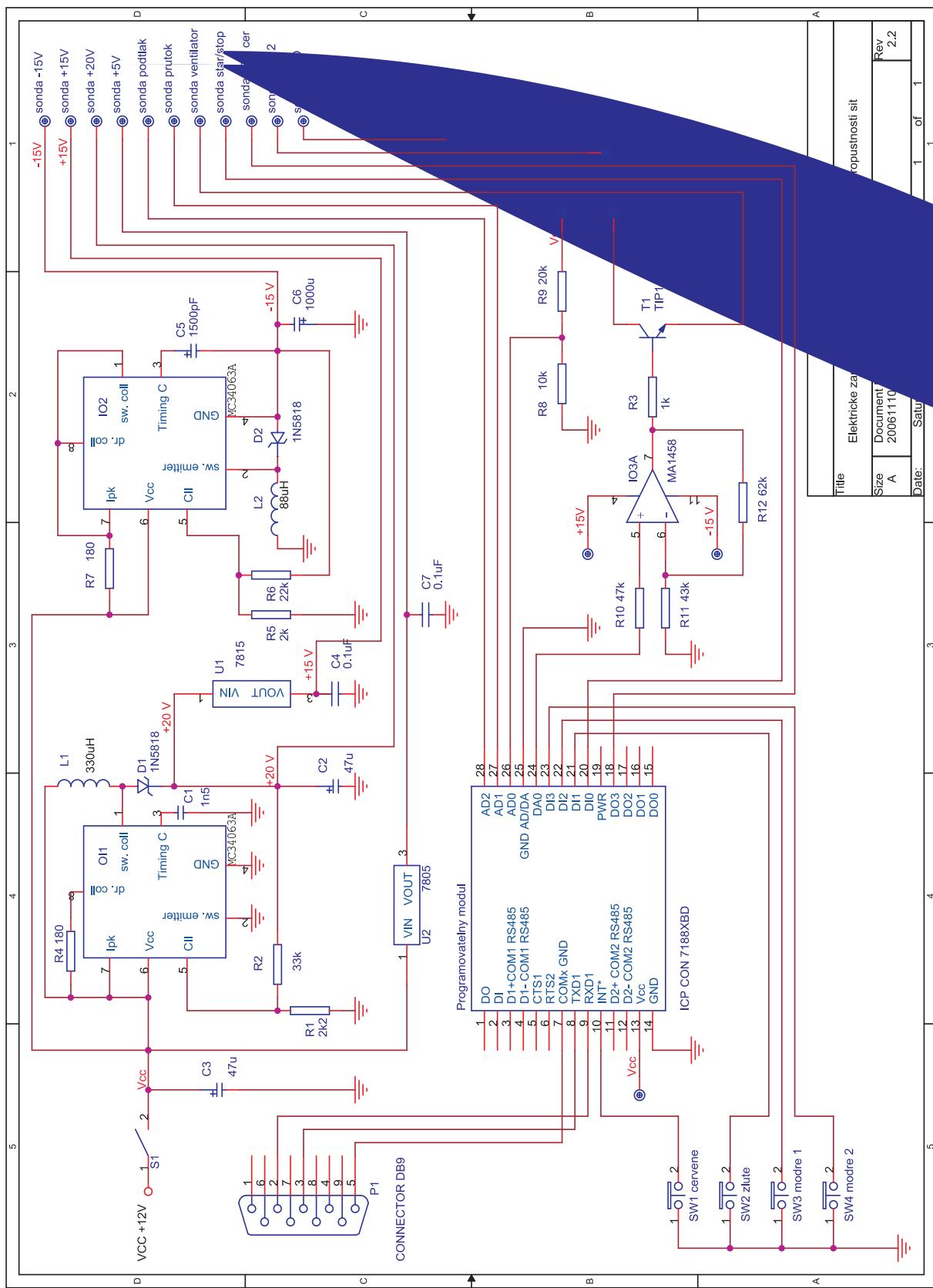
Schéma zapojení je uvedeno na obr. A.1

A.3 Seznam použitých součástek

Tabulka A.2: Seznam použitých součástek

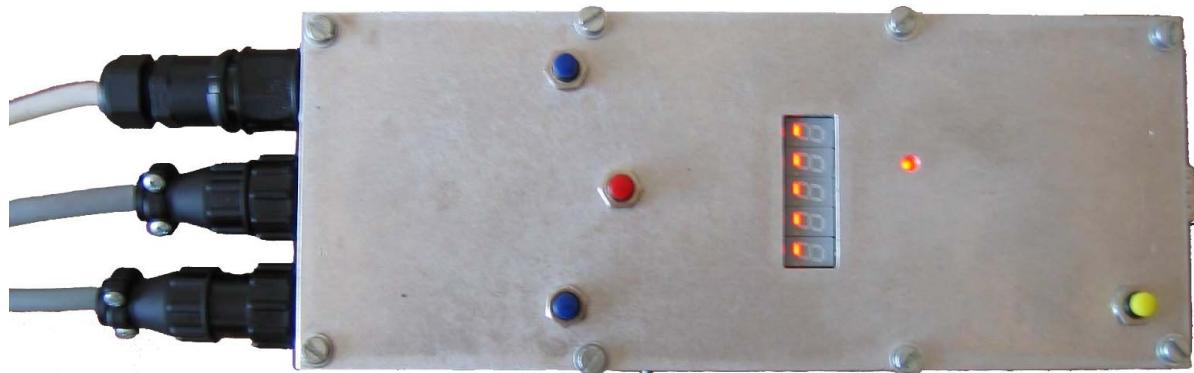
ozn.	hodnota	komentář
C1	1n5	kondenzátor keramický
C2, C3	47u/35 V	kondenzátor radiální
C4, C7	0,1uF/35 V	kondenzátor keramický
C5	1500pF/35 V	kondenzátor keramický
C7	0,1pF/35 V	kondenzátor keramický
D1, D2	1N5818	Schottkyho dioda
OI1, IO2	MC34063A	DC/DC převodník
IO3	MA1458	operační zesilovač
(pokračování na další stránce)		

<i>(pokračování seznamu)</i>		
ozn.	hodnota	komentář
X1	ICP CON 7188XBD	programovatelný modul
1P1	CAN 9B	konektor pro sériovou linku
T1	TIP140	tranzistor (Darlington)
R1	2k2/0,6W	miniaturní
R2	33k/0,6W	miniaturní
R3	1k/0,6W	miniaturní
R4, R7	180/0,6W	miniaturní
R5	1k/0,6W	miniaturní
R6	22k/0,6W	miniaturní
R8	10k/0,6W	miniaturní
R9	20k/0,6W	miniaturní
R10	47k/0,6W	miniaturní
R11	43k	miniaturní
R12	62k	miniaturní
U1	7805	napěťový stabilizátor
U2	7815	napěťový stabilizátor
SW1	tlačítko	červené
SW2	tlačítko	žluté
SW3, T4	tlačítko	modré
<i>Konec seznamu</i>		

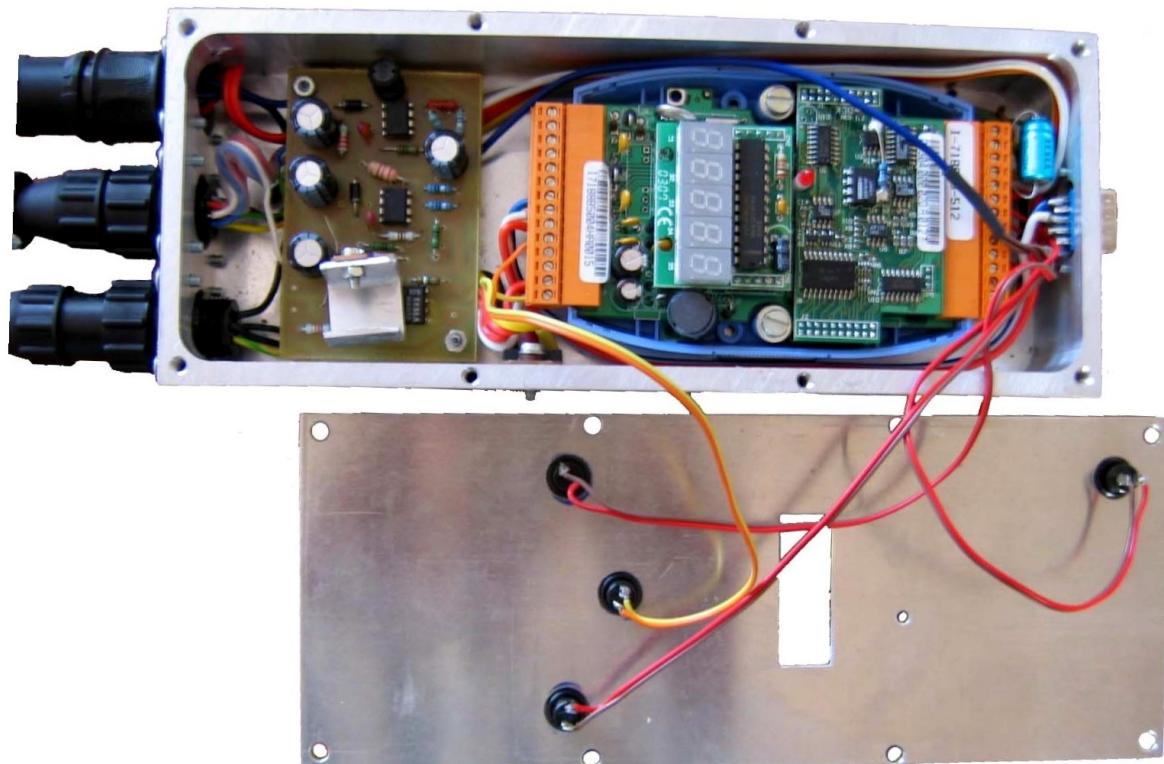


Příloha B

Fotografie



Obrázek B.1: Řídicí jednotka - horní pohled



Obrázek B.2: Řídicí jednotka - otevřená



Obrázek B.3: Řídicí jednotka - přední a zadní pohled



Obrázek B.4: Měřicí sonda - boční pohled



Obrázek B.5: Měřicí sonda - čelní pohled

Příloha C

Vývoj prototypu nového měřicího přístroje

Zadavatel práce byl spokojen s výsledky, kterých dosahoval měřicí přístroj po renovaci. Uvítal by však ještě jeden měřicí přístroj pro mobilní použití při výrobě a případně by byl schopen zajistit odbyt dalších měřicích přístrojů. Proto začaly práce na měřicím přístroji založeném na stejném konceptu řízení, odproštěném od negativních vlastností renovovaného modelu. Základní myšlenkou je koncentrace všech částí měřicího systému do jednoho celku, konstrukce přístroje z lehkého a odolného materiálu, zpětná kompatibilita z hlediska řízení, komunikace s osobním počítačem a stejné ovládání. Při tomto konceptu odpadají jisté těžkosti, kterými byl postižen renovovaný model v důsledku zachování původní měřicí sondy. Dále nebude nutné používat propojovací kabely, čímž se dále snižuje náročnost na obsluhu. Všechny požadavky a kritéria uvažované při návrhu nového zařízení byly konzultovány se zadavatelem práce, firmou TSF s.r.o. Strakonice.

C.1 Popis přístroje

Nově navržený přístroj tvoří jeden celek, který obsahuje veškeré funkční podsystémy nutné ke správnému chodu zařízení. Je tedy tvořen měřicí sondou, řídicí jednotkou a akumulátorem. V klíčových rozmezích vychází z osvědčených rozměrů původní měřicí sondy. Nový přístroj se skládá především z následujících prvků:

- nosná příruba s definovaným průřezem
- přítlačná pogumovaná deska
- plášt'
- víko

- držadlo
- podpěra pro držadlo
- horní kryt
- příchytka
- snímací váleček
- přechodka

Zakoupené díly nutné pro funkčnost přístroje:

- vývěva
- měřicí senzor podtlaku
- prevodník na vyhodnocení počtu otáček
- snímač otáček
- řídicí jednotka

C.2 Konstrukční díly přístroje

C.2.1 Nosná příruba

Tento díl je hlavní nosnou částí celého přístroje. Na dolní část je přišroubována přítlačná pogumovaná deska, na horní část je přichycena vývěva pomocí příchytek a z boku našroubován pláště. Vnější průměr příruby je volen na vnitřní průměr pláště. Vstupní otvor má určený průměr 35,61 mm. Příruba je vyrobena z hliníku.

C.2.2 Nosná deska

Vnitřní průměr nosné desky těsně obepíná válcovou část vývěvy a následně je stažen šroubem. Nosná deska je rovněž vyrobena z hliníku.

C.2.3 Přítlačná pogumovaná deska

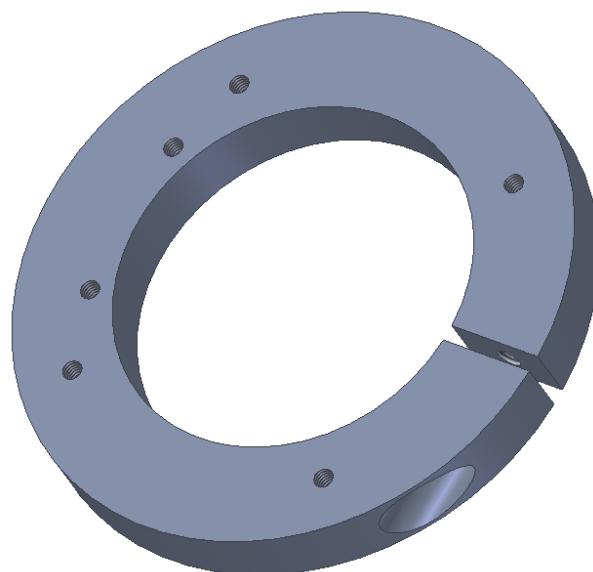
Tento díl je přišroubován zespoda na nosnou příruba. Spodní strana je gumová a zajišťuje těsný styk se sítěm.

C.2.4 Pláště

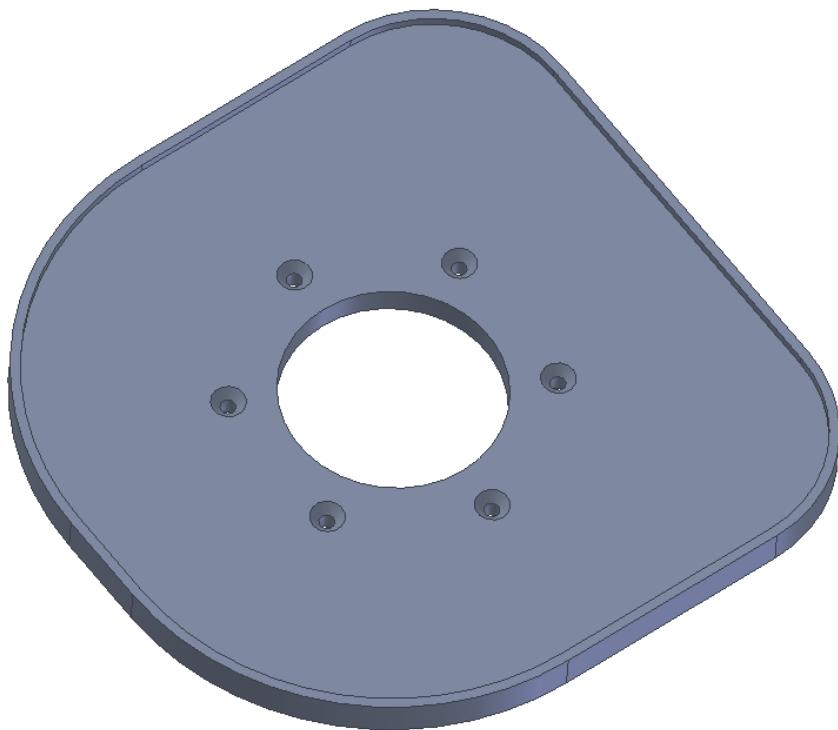
Tento díl je tenkostěnná hliníková trubka, která je po obvodu přišroubována v dolní části k nosné přírubě a v horní části k hornímu krytu.



Obrázek C.1: Nosná příruba



Obrázek C.2: Nosná deska



Obrázek C.3: Nosná příruba

C.2.5 Víko

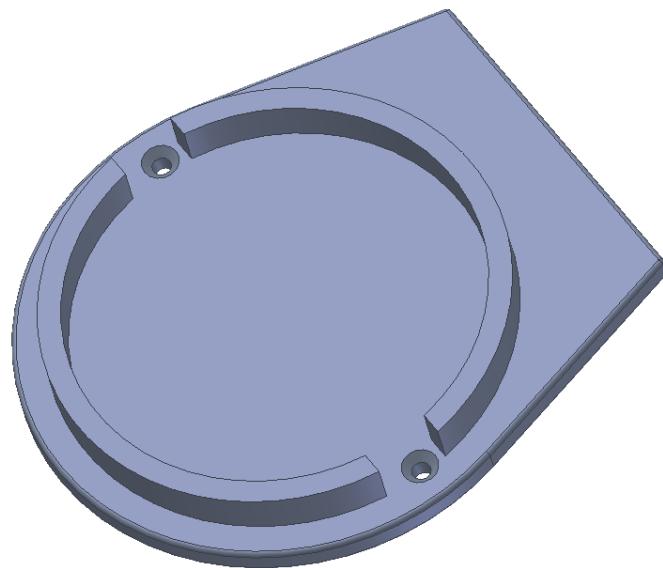
Víko je přišroubováno k přítlačné pogumované desce. Na pření straně víka jsou vyrobeny díry na displeje měřicích přístrojů.

C.2.6 Horní kryt

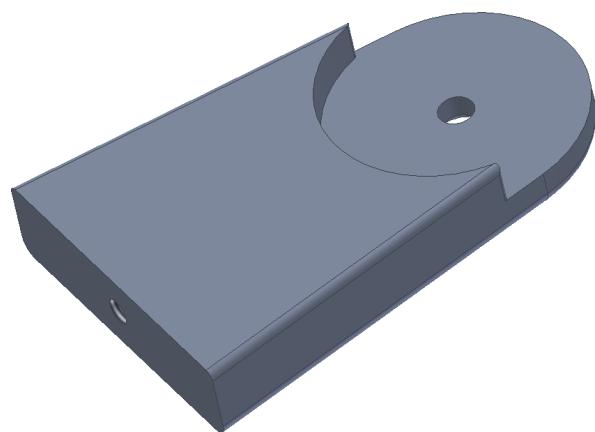
Tento díl je vyroben z hliníku o tloušťce 16 mm a je následně opracován tak, aby na dolní straně vznikl výstupek, který je shodný s vnitřním průměrem pláště. Vnější tvar kopíruje kruhový plášť s výkem s přesahem 5 mm.

C.2.7 Podpěry pro držadlo

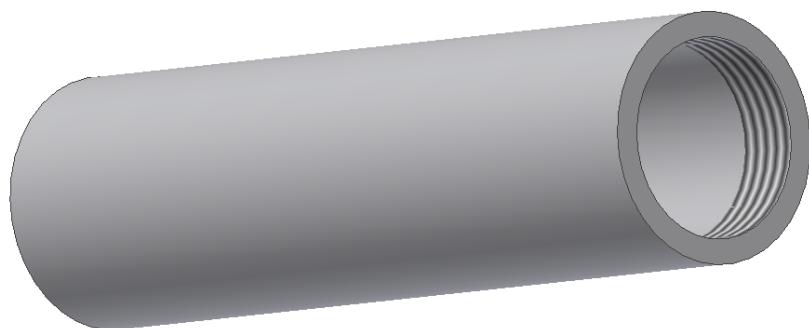
Tento díl má lichoběžníkový tvar přecházející na horní hraně na kruhový, který lícuje s držadlem. Podpěry jsou sešroubovány s horním krytem a jsou vyrobeny z hliníku.



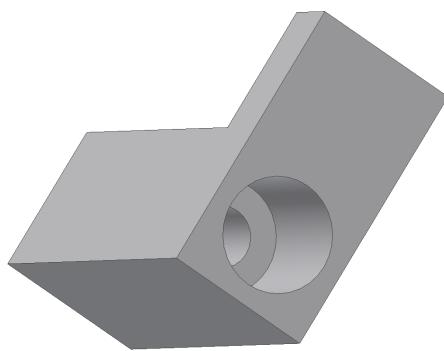
Obrázek C.4: Víko



Obrázek C.5: Podpěra pod držadlo



Obrázek C.6: Držadlo



Obrázek C.7: Příchytka

C.2.8 Držadlo

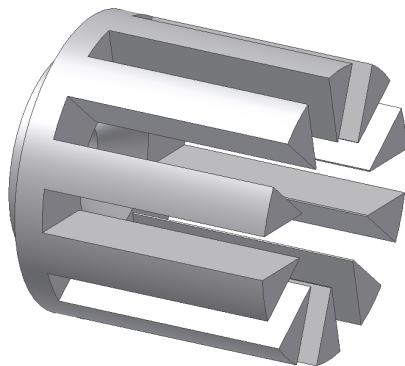
Tento díl je tenkostěnná hliníková trubka. Na držadlo je navléknuta gumová objímka pro lepší držení přístroje.

C.2.9 Příchytka

Příchytky jsou přišroubovány po obvodu nosné příruby a kratší plochy přitahují vývěvu směrem k přírubě.

C.2.10 Snímací váleček

Tento díl je nařezaný váleček, který je přišroubován na hřídel rotoru vývěvy. Rozměry jsou zvoleny tak, aby snímač dokázal zachytit otáčky, proto musí být váleček umístěn cca. 2 mm od snímače. Nařezání slouží k vlastnímu snímání otáček.



Obrázek C.8: Snímací váleček

C.2.11 Přechodka

Tento díl má kruhový tvar a je našroubován do držadla.

C.2.12 Vývěva

Vývěva se skládá z motoru a rotoru dmychadla. Otvor pro nasávání vzduchu je na spodní straně a výfuk na bok. Motor roztáčí dmychadlo, které vstupním otvorem nasává vzduch.

Výrobce: AMETEK USA.

C.2.13 Měřicí přístroj podtlaku

Skládá se z diferenciálního čidla, displeje a krabičky. Diferenciální čidlo snímá hodnotu tlaku vzduchu na dvou místech a to v uzavřeném prostoru příruby a ve volném prostředí.

Výrobce: CRESSTO Rožnov p. Radhoštěm.

C.2.14 Řídicí jednotka

Stejný typ, rozšiřovací karta a softwarové vybavení jako u předešlého zařízení.

Výrobce: IDAM, ICP CON.

C.2.15 Převodník na vyhodnocení počtu otáček

Snímá impulsy ze snímače rychlosti otáček a převádí je na napětí, jehož úroveň je úměrná počtu otáček.

Výrobce: Vlastní výroba.



Obrázek C.9: Přechodka



Obrázek C.10: Vývěva



Obrázek C.11: Pohled zespodu

C.2.16 Snímač rychlosti otáček

Tato součást je optoelektronické čidlo. Snímá otáčky snímacího válečku a převádí je na impulsy.
Výrobce: SUNX.



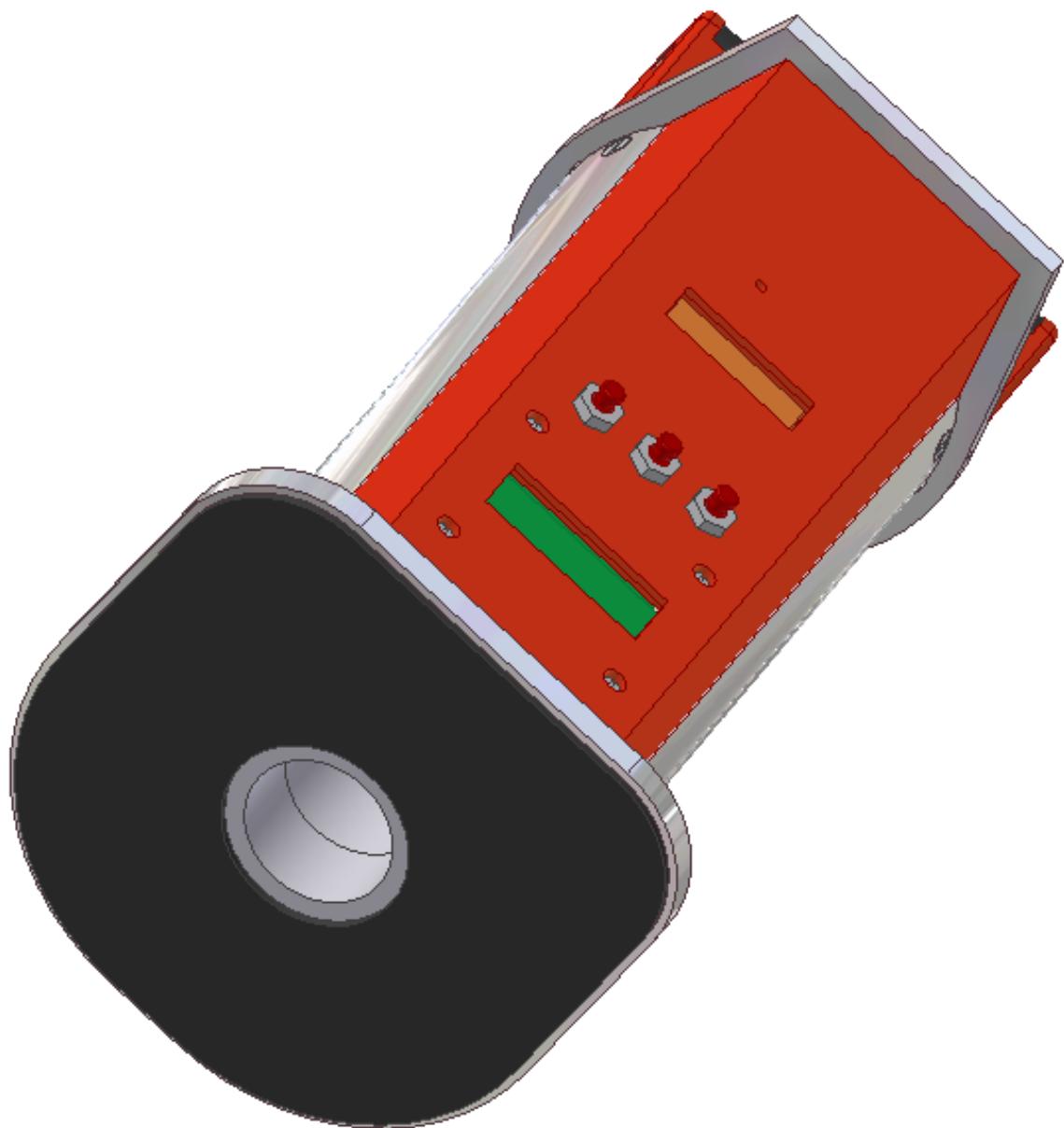
Obrázek C.12: Přední pohled



Obrázek C.13: Natočený boční pohled



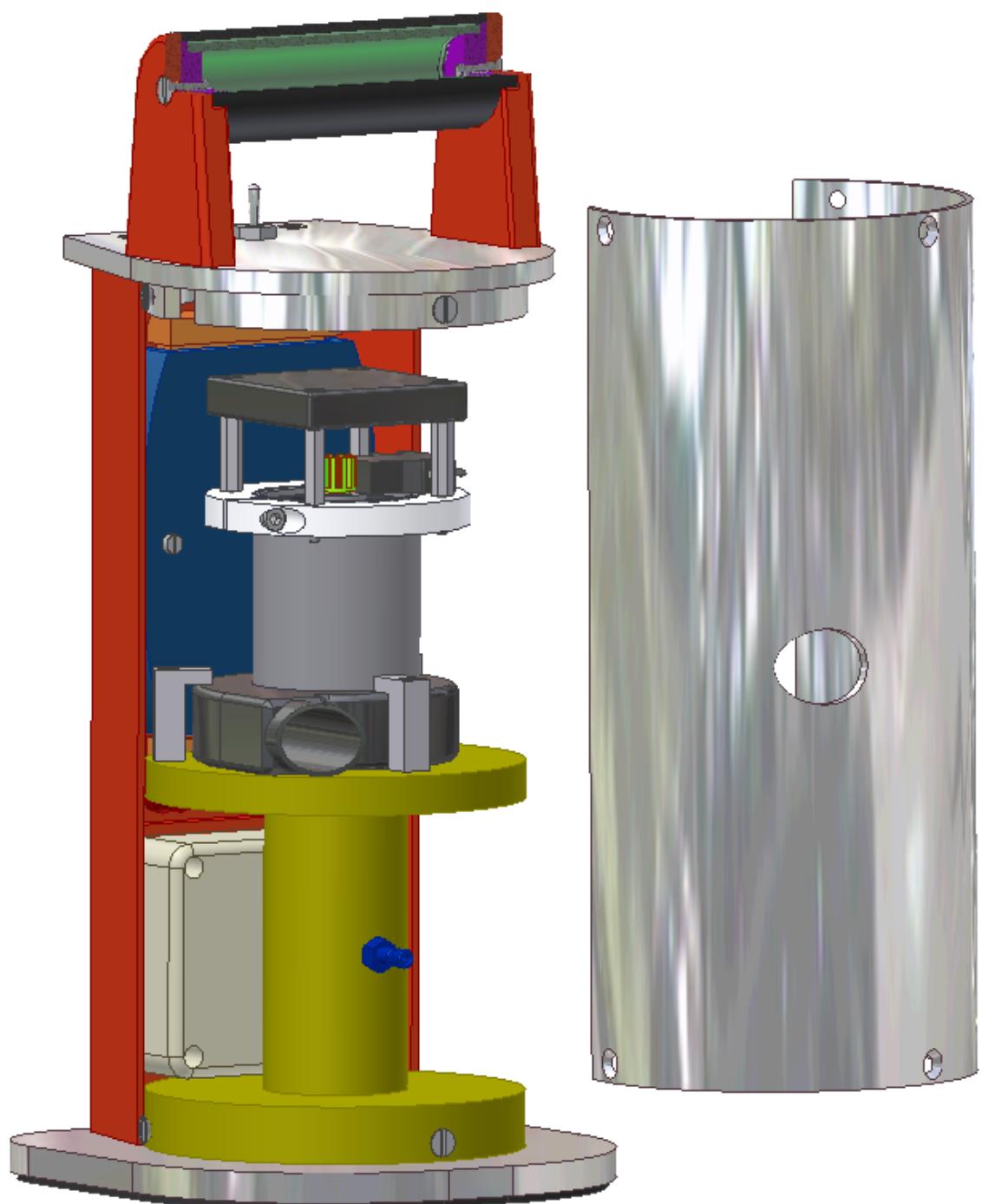
Obrázek C.14: Natočený přední pohled



Obrázek C.15: Natočený pohled zespodu



Obrázek C.16: Vnitřní část zařízení



Obrázek C.17: Vnitřní část zařízení v řezu

Příloha D

Obsah přiloženého CD

K této práci je přiloženo CD, na kterém jsou uloženy zdrojové kódy.

- \Latex - diplomová práce v systému L^AT_EX
- \Datasheet - datasheet pro použité součástky
- \Pic - fotografie měřicího systému
- \OrCAD - schéma elektrického zapojení
- \Video - krátký záznam práce s měřicím systémem